

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Remoción de metales pesados de efluentes minero-metalúrgico mediante
filtro bioadsorbente con fibras lignocelulósicas en Santa Rosa Quives,
Lima**

Por:

Merli Lizet Fernández Alvarado

Delia Flores Córdova

Asesor:

Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga

Co-asesor:

MSc. Daniel Florencio Lovera Dávila

Lima, Junio 2019

DECLARACIÓN JURADA
DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS


Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado “REMOCIÓN DE METALES PESADOS DE EFLUENTES MINERO-METALÚRGICO MEDIANTE FILTRO BIOADSORBENTE CON FIBRAS LIGNOCELULÓSICAS EN SANTA ROSA QUIVES, LIMA” Constituye la memoria que presenta la Bachiller Delia Flores Córdova y Merli Lizet Fernández Alvarado para aspirar al título Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Lima, a los 14 días de junio del año 2019.


Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga


Remoción de metales pesados de efluentes minero-metalúrgico
mediante filtro bioadsorbente con fibras lignocelulósicas en Santa
Rosa Quives- Lima

TESIS


Presentada para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

JURADO CALIFICADOR


Mg. Iliana Del Carmen Gutiérrez Rodríguez
Presidenta


Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio
Secretario


Mg. Joel Hugo Fernández Rojas
Vocal


Ing. Nancy Cúrsi Rafael
Vocal


Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga
Asesora

Lima, 07 de junio de 2019

DEDICATORIA

Dedicamos esta tesis en primer lugar a Dios, por darnos la fortaleza y sabiduría para concluir con éxito.

A nuestros padres, por su amor, trabajo, sacrificio y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestra gratitud a Dios por un logro más en nuestras vidas, por ser nuestro ayudador y sustentador, por darnos la fortaleza y sabiduría para concluir esta etapa exitosamente.

Agradecimiento especial a nuestros padres, han sido nuestra mayor motivación y gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí; a nuestros hermanos y a las personas de estima que nos apoyaron, motivaron y creyeron que podemos lograrlo.

A nuestra Asesora Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga y Co Asesor MSc. Daniel Florencio Lovera Dávila, por la orientación y ayuda brindada para la realización de la investigación, por su apoyo y amistad que nos permitieron adquirir nuevos conocimientos. Al docente Dr. Noé Benjamín Pampa Quispe, por compartir sus conocimientos y por la disposición de apoyarnos en todo momento.

Al Centro de Investigaciones, Tecnológicas, Biomédicas y Medioambientales (CITBM) de la Universidad Mayor de San Marcos (UNMSM), en especial al PhD. Justiniano Quispe Marcatoma, Dr. Carlos Landauro Sáenz y su equipo, por el apoyo brindado para el análisis de las muestras.

Asimismo, nuestro agradecimiento al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo (PRONABEC) por brindarnos la oportunidad de formarnos profesionalmente y contribuir al desarrollo del Perú.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I.....	14
INTRODUCCIÓN	14
1.1. Identificación del problema.....	14
1.2. Justificación de la investigación.....	17
1.2.1. Legal.....	17
1.2.2. Social.....	18
1.2.3. Económico	19
1.2.4. Técnico.....	19
1.2.5. Ambiental.....	20
1.3. Presuposición filosófica	21
1.4. Objetivos de la investigación	22
1.4.1. Objetivo General	22
1.4.2. Objetivos específicos	22
CAPÍTULO II	23
REVISIÓN LITERATURA	23
2.1. Antecedentes	23
2.2. Marco legal.....	24
2.3. Minería artesanal en el Perú	25
2.3.1. Tipos de minería.....	27
2.4. Proceso artesanal de la minería	30
2.5. Impactos de la minería artesanal al ambiente.....	32
2.6. Métodos tradicionales para tratar aguas residuales mineras	38
2.6.1. Precipitación química.....	38
2.6.2. Intercambio iónico (Io)	38
2.6.3. Filtración con membrana	39
2.6.4. Coagulación-floculación	40
2.7. Métodos no convencionales para tratar aguas residuales.....	41
2.7.1. Fitorremediación	41
2.7.2. Biopolímeros.....	41
2.7.3. Biofiltros	42
2.7.4. Adsorción.....	42
2.7.5. Bioadsorción	43
2.8. Adsorbentes de bajo costo.....	47
2.8.1. Aspectos generales de la cáscara de Coco	47
2.8.2. Consideraciones de la cáscara de Naranja	49
2.8.3. Generalidades del Plátano	51
2.9. Fluorescencia de Rayos X (FRX).....	52
2.9.1. Aplicaciones.....	54
CAPÍTULO III.....	56
MATERIAL Y MÉTODOS	56
3.1. Lugar de Ejecución.....	56
3.1.1. Ubicación geográfica de la zona de estudio.....	56
3.1.2. Análisis en el laboratorio	57
3.2. Material y métodos.....	57
3.2.1. Metodología	57
3.2.2. Materiales, reactivos y equipos	66

3.2.3.	Parámetros de muestreo	67
3.3.	Variables de Estudio.....	68
3.3.1.	Variables Independientes	68
3.3.2.	Variables Dependientes.....	68
3.4.	Estudio y diseño de la investigación	68
3.5.	Formulación de hipótesis	69
3.6.	Diseño de experimentos	69
3.3.1.	Diseño estadístico	69
3.3.2.	Análisis estadístico.....	71
3.6.1.	Flujo y diseño experimento.....	72
CAPÍTULO IV:.....		73
RESULTADOS Y DISCUSIONES		73
Resultados.....		73
4.1.	Caracterización de parámetros físicos y metales pesados del efluente	73
4.2.	Estadística con Diseño Simplex Lattice	77
4.2.1.	Análisis de la varianza (ANOVA)	78
4.2.2.	Análisis por el Diagrama de Pareto.....	80
4.2.3.	Análisis por superficie de Respuesta	82
4.3.	Hipótesis.....	84
4.4.	Cálculo del porcentaje de remoción	84
4.5.	Comparación de los resultados físicos y metales pesados con la norma	85
4.5.1.	LMP con parámetros físicos	86
4.5.2.	LMP con metales pesados.....	87
Discusiones.....		90
CAPÍTULO V:		100
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		100
5.1.	Conclusiones	100
5.2.	Recomendaciones.....	102
REFERENCIAS.....		104
ANEXOS.....		114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estudios con bioadsorbentes	23
Tabla 2. Comparación de los niveles de membrana de filtración (Departamento de Protección Ambiental de Pensilvania, s.f.)	40
Tabla 3. Ventajas y desventajas del proceso de Bioadsorción.....	45
Tabla 4. Factores principales que intervienen en la biosorción	46
Tabla 5. Composición química de la fibra y cáscara del coco (Han, 1998; Huamán, 2005)...	48
Tabla 6. Polímeros naturales con propiedades biosorbentes (Muñoz, 2007).	50
Tabla 7. Composición química de la cáscara de banano (Mohapatra, Mishra y Sutar, 2010).	52
Tabla 8. Factores principales que intervienen en la biosorción	65
Tabla 9. Materiales, equipos y reactivos utilizados en la preparación de las materias primas.	66
Tabla 10. Materiales utilizados en la preparación de la solución a tratar.	66
Tabla 11. Materiales empleados en la construcción del filtro bioadsorbente	67
Tabla 12. Materiales y equipos utilizados en el análisis pre-post.....	67
Tabla 13. Parámetros según el decreto D.S.010-2010-MINAM	68
Tabla 14. Diseño de experimentos de mezclas Simplex Lattice para variables independientes codificadas y no codificadas, y variables dependientes para la remoción de los metales pesados	70
Tabla 15. Resultados de metales pesados por FRX –Pre tratamiento.....	74
Tabla 16. Resultados de metales pesados por FRX – Post tratamiento	75
Tabla 17. Resultados con Diseño Simplex Lattice	77
Tabla 18. ANOVA para el variable Cobre.....	78
Tabla 19. ANOVA para la variable Hierro.	79
Tabla 20. ANOVA para la variable Plomo.	79
Tabla 21. Eficiencia de remoción de Cu, Fe y Pb con los tratamientos.	85

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Categorías de minería del Perú (Peru Support Group, 2012).	27
<i>Figura 2.</i> Descripción general del proceso de intercambio iónico (Brastad y He, 2013).....	38
<i>Figura 3.</i> Proceso de ósmosis y ósmosis inversa (Fluence Corporation Limited, 2016).	40
<i>Figura 4.</i> Diferencia entre adsorción, absorción y biosorción (Marshall y Espinoza, 2016) ..	43
<i>Figura 5.</i> Esquema de tratamiento en el proceso de Bioadsorción en lechos fijos (Izquierdo, 2011).	45
<i>Figura 6.</i> Partes del coco (Nutrition Facts, 2018)	49
<i>Figura 7.</i> Naranja, biosorbente en estudio.	49
<i>Figura 8.</i> Aplicaciones de los residuos de plátano (Ahmad y Danish, 2018).	52
<i>Figura 9.</i> Ilustración del proceso de excitación XRF y el espectro resultante para el calcio. 53	
<i>Figura 10.</i> Zona de estudio	56
<i>Figura 11.</i> Proceso para la obtención de polvo de la cáscara de coco.....	58
<i>Figura 12.</i> Preparación del Efluente	61
<i>Figura 13.</i> Esquema del sistema de tratamiento-Filtro bioadsorbente.	63
<i>Figura 14.</i> Sistema de tratamiento – Filtro bioadsorbente.	64
<i>Figura 15.</i> Esquema de pruebas.....	65
<i>Figura 16.</i> Diseño de mezclas Simplex Lattice a diferentes concentraciones de cáscaras (X1: Plátano, X2: Coco y X3: Naranja	70
<i>Figura 17.</i> Proceso de tratamiento.....	72
<i>Figura 18.</i> Resultados de laboratorio pre-post	73
<i>Figura 19.</i> Resultados pre y post para el Cobre.....	76
<i>Figura 20.</i> Resultados pre y post para el Hierro	76
<i>Figura 21.</i> Resultados pre y post para el Plomo.....	77
<i>Figura 22.</i> Diagrama de Pareto para la variable cobre.	80
<i>Figura 23.</i> Diagrama de Pareto para la variable hierro.	81
<i>Figura 24.</i> Diagrama de Pareto para la variable Plomo.....	81
<i>Figura 25.</i> Superficie de respuesta de contorno para la remoción del cobre.....	82
<i>Figura 26.</i> Superficie de respuesta de contorno para la remoción del hierro.	83
<i>Figura 27.</i> Superficie de respuesta de contorno para la remoción del plomo.	84
<i>Figura 28.</i> Límites Máximos Permisibles para el pH.....	86
<i>Figura 29.</i> Límites Máximos Permisibles para los Sólidos Suspendidos Totales	87
<i>Figura 30.</i> Límites máximos permisibles del cobre	88
<i>Figura 31.</i> Límites máximos permisibles del Hierro	88
<i>Figura 32.</i> Límites máximos permisibles del Plomo	89

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Certificado de publicación de artículo de revisión.....	114
Anexo 2. Laboratorio de Metalúrgia de la UNMSM.....	115
Anexo 3. Revisión del proyecto con el asesor UNMSM.....	115
Anexo 4. Participación de Centro de Investigaciones Tecnológicas, Biomédicas y Medioambientales (CITBM) UNMSM en la investigación.....	116
Anexo 5. Reuniones de coordinación con el CITBM.....	116
Anexo 6. Obtención de las cáscaras de coco	117
Anexo 7. Limpieza y corte de la cáscara de coco	117
Anexo 8. Limpieza y corte de la cáscara de naranja.....	118
Anexo 9. Obtención de la cáscara de plátano	119
Anexo 10. Limpieza y desinfección de la cáscara de plátano	119
Anexo 11. Estufa usada para el secado de las cáscaras	120
Anexo 12. Proceso de secado de las cáscaras.....	120
Anexo 13. Cáscaras de naranja, coco y plátano después del secado	121
Anexo 14. Trituración de las cáscaras	122
Anexo 15. Tamiz N°60	122
Anexo 16. Materiales tamizados.....	123
Anexo 17. Laboratorio de Química, UPeU	123
Anexo 18. Reactivos para Desmetoxilación y Reticulación de la naranja	124
Anexo 19. Naranja tratada	124
Anexo 20. Preparación de materiales para filtro	125
Anexo 21. Preparación del efluente: peso relave.....	125
Anexo 22. Preparación del efluente, relación 1/3.....	126
Anexo 23. Jarras listas para colocar equipo.....	127
Anexo 24. Adecuación de equipo de pruebas de jarras	127
Anexo 25. Equipo de prueba de jarras puesto en marcha.....	128
Anexo 26. Equipo de decantación	128
Anexo 27. Peso de los adsorbentes.....	129
Anexo 28. Codificación de los muestreadores	129
Anexo 29. Filtro bioadsorbente puesto en marcha	130
Anexo 30. Primeras muestras	131
Anexo 31. Toma de muestras para análisis	131
Anexo 32. Muestras listas para laboratorio	132
Anexo 33. Equipo de laboratorio para análisis por FRX.....	132
Anexo 34. Análisis de muestras en CITBM-metales pesados	133
Anexo 35. Equipo 1 para medir parámetros físicos en laboratorio UPeU.....	133
Anexo 36. Equipo 2 para medir parámetros físicos en laboratorio UPeU.....	134
Anexo 37. Medida de parámetros físicos en laboratorio ambiental de la UPeU	134
Anexo 38. Árbol de problemas de la tesis	135
Anexo 39. Árbol de objetivos de la tesis	136
Anexo 40. Matriz de consistencia de la tesis	137
Anexo 41. Cronograma de actividades	139
Anexo 42. Diagrama de Gantt-Cronograma de actividades	140
Anexo 43. Presupuesto de la Investigación	141
Anexo 44. D.S N° 010-2010-MINAM	143
Anexo 46. Metales pesados y Límites Máximos Permisibles	143
Anexo 47. Resultados pre de los análisis de las muestras	144
Anexo 48. Resultados post de los análisis de las muestras.....	144

RESUMEN

El hombre en sus distintos procesos productivos ha generado modificaciones al ambiente. La minería metalúrgica no se exime de esto, ya que muchos de los residuos producidos, en especial los efluentes, no cuentan con ningún tipo de tratamiento antes de ser vertidos. El siguiente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de remoción de los metales pesados del efluente minero-metalúrgicos de la compañía artesanal de Santa Rosa de Quives mediante la aplicación de un filtro bioadsorbente con fibras lignocelulósicas. Se diseñó 10 filtros compuestos por cáscaras de plátano, coco y naranja, en diferentes proporciones (siendo 100 gr el 100 %), según lo establecido mediante el Diseño de mezclas Simplex Lattice, con tres metales a remover (Cu, Fe y Pb). Se trabajó a un pH de 7.3, tiempo de contacto de 3 horas y tamaño de partícula de 0.250 mm, en todos los tratamientos. Los resultados muestran que para el Cu el mejor tratamiento fue (T2), con 100 gr de cáscaras de coco (96.36%); para el hierro el tratamiento seis (T6) compuesto por coco-naranja (50 gr de cada uno) con una eficiencia de (92.05%); y el plomo presentó una mayor remoción del 97.34% con los tratamientos tres (T3) y seis (T6) compuesto por 100 gr de naranja y coco-naranja (50 gr de cada uno), respectivamente. Los datos se ajustaron mejor al modelo de regresión cúbica especial, siendo el valor $P < 0.05$ y el $R^2 > 0.7$.

Palabras clave: Biosorción; Fibras lignocelulósicas; Metales pesados; Efluentes mineros

ABSTRACT

Man in his different productive processes has generated modifications to the environment. Metallurgical mining is not exempt from this, since many of the waste produced, especially effluents, do not have any type of treatment before being dumped. The objective of the following research work was to evaluate the removal efficiency of heavy metals from the mining-metallurgical effluent of the artisanal company of Santa Rosa de Quives through the application of a bioadsorbent filter with lignocellulosic fibers. We designed 10 filters composed of banana, coconut and orange peels, in different proportions (100 gr 100%), as established by Simplex Lattice Mix Design, with three metals to be removed (Cu, Fe and Pb). We worked at a pH of 7.3, contact time of 3 hours and particle size of 0.250 mm, in all treatments. The results show that for the Cu the best treatment was (T2), with 100 gr of coconut husks (96.36%); for iron treatment six (T6) composed of coconut-orange (50 gr of each) with an efficiency of (92.05%); and lead showed a greater removal of 97.34% with treatments three (T3) and six (T6) composed of 100 g of orange and coconut-orange (50 g of each), respectively. The data were better adjusted to the special cubic regression model, with the value $P < 0.05$ and $R^2 > 0.7$.

Keywords: Biosorption; Lignocellulosic fibers; Heavy metals; Mining effluents

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Identificación del problema

Desde los albores, el hombre en sus distintos procesos productivos ha generado modificaciones al ambiente. La industria minero-metalúrgica no es ajeno a éste aspecto, ya que es una actividad muy antigua y el uso del agua en sus actividades mineras es indispensable para obtener minerales específicos, por eso es necesario encontrar un equilibrio entre las actividades productivas y aquellas ligadas al resguardo medioambiental (Concha, 2017).

Para Martínez (2018) Perú es un país con un alto potencial minero, con abundantes yacimientos de minerales y grandes riquezas naturales. Esto convierte a la actividad minera en uno de los importantes renglones dentro de la economía nacional.

A diferencia de países como Chile y Brasil, en el Perú, así como Bolivia y Ecuador una importante porción de las minas se sitúan en zonas pobladas y en cuencas pluviosas, por lo que los impactos más importantes que se identifican son los concernientes al manejo de efluentes líquidos, residuos sólidos, utilización de los suelos y salud de las personas (Grupo de Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable en América del Sur, 2002).

Gu (2018) afirma que la minería impulsada por la demanda humana de minerales y metales es un importante contribuyente a la actual contaminación ambiental y está ejerciendo cada vez más presión sobre el ecosistema. De todos los problemas medioambientales que afronta el ser humano, la contaminación de las fuentes de agua, superficiales y subterráneas, es la más preocupante por el aumento de los elementos tóxicos provenientes de los efluentes generados por la actividad del hombre (Fatih, 2013).

De todos los contaminantes que existen, los metales pesados (mercurio, cobre, plomo, cromo, cadmio, níquel, etc.) se posicionan dentro de los más peligrosos y han atraído sobre si

especial atención debido a que se acumulan y deterioran los ecosistemas (Pino, De Mesquita, Pinto, y Torem, 2006), son altamente tóxicos aún en concentraciones mínimas (Kang, Jong-Un y Kyoung-Woong, 2007), su alta toxicidad, persistencia en el ambiente y la tendencia de que se acumulen en el organismo de los seres vivos (Manahan, 2004) y la limitada cantidad de rutas de metabolización (por parte de los seres vivos) o degradación (por parte del medio) (Martín, 2008) conlleva a la urgente necesidad de su eliminación de efluentes acuosos.

Para Obiri et al. (2016) el sector minería acarrea una serie de repercusiones ambientales y socioeconómicas negativos en las sociedades de acogida asociados con la extracción metalúrgica que ensombrecen los beneficios económicos obtenidos. Sin embargo éstos impactos pueden prevenirse usando tecnologías ecoeficientes e implementando adecuados programas de gestión ambiental y responsabilidad social (Minem, 2018).

La minería, principalmente la artesanal e informal tiene serias repercusiones, estas van desde la perspectiva de que su misma naturaleza informal y sin regulación conlleve a que sus operaciones no garanticen condiciones seguras. En el tema ambiental la mayor preocupación es la contaminación con mercurio y cianuro cuyos residuos originan la contaminación del aire y por la descarga directa de relaves a cuerpos de agua (Arce, 2017; International Institute for Environment and Development, 2002). Frente a esta problemática mundial se requiere el esfuerzo consecuente de todos, tanto sociales, legales, ambientales, incluyendo las decisiones y actitudes individuales que tomemos para tener una vida digna (Paredes, 2011).

El impacto negativo de las sustancias tóxicas sobre el medioambiente ha motivado a los investigadores científicos a crear diferentes rutas de tratamiento como la precipitación química, intercambio de iones, degradación biológica, oxidación química, técnicas con membrana, etc. (Yıldız, Gönülşen, Koyuncu y Çalimli, 2005; Sala, y otros, 2010). No obstante, estas alternativas son de alto costo e poco eficientes esencialmente cuando la metales se encuentran en concentraciones muy bajas, además de que se generan nuevos

desechos durante el procedimiento, lo cual se vuelve en un dilema mayor a ser resuelto (Sala, y otros, 2010; Duarte, Olivero, y Jaramillo, 2009). La adsorción con materiales orgánicos nace como una opción prometedora para remediar efluentes industriales, siendo una tecnología que aparte de removerlos, permite dar a los desechos un segundo uso (Mao, Won, Vijayaraghavan y Yun, 2009).

Se ha aplicado diferentes tipos de bioadsorbentes con el objetivo de remover los metales pesados del agua. Lara, Tejada, Villabona, Arrieta y Granados (2016) en su estudio *“Adsorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao”* comprobaron que la “cáscara de la mazorca de cacao” presenta una elevada capacidad de atrapamiento de iones Pb (II) en agua sintética cuyas eficiencias fueron 91,32% de plomo divalente y 87,80% para el Cadmio. Por otro lado León, (2018) *“Remoción de Hierro y Plomo en aguas Residuales por Bioadsorción de la Cáscara de Naranja Agria”* obtuvieron un 89,65 % de remoción del hierro (pH=4,5, tamaño de partícula =0.5 mm, concentración del metal=50 mg/L, dosis del bioadsorbente =0.5g, tiempo de contacto=4h) y el porcentaje de remoción de plomo fue 96,61% (pH=5, tamaño de partícula=0.5mm, concentración de metal=30 mg/L, dosis del bioadsorbente=0.2g, tiempo de contacto=4h). Asimismo, Abdulrasaq y Basiru (2010) en su artículo titulado *“Removal of copper (II), iron (III) and lead (II) ions from mono-component simulated waste effluent by adsorption on coconut husk”* encontraron que la adsorción de Pb (II) era máxima ($94\% \pm 3.2$) a pH 5, temperatura de 100 ° C, concentración de ión metálico de 30 ppm y tiempo de contacto de 30 min. La adsorción de Cu (II) y Fe (III) fue máxima ($92\% \pm 2.8$ y $94\% \pm 1.4$) a un rango de pH de 5 - 7, concentración de ión metálico de 50 ppm, temperatura de 50 ° C pero en diferentes momentos de 30 y 90 min respectivamente. Así como estos, se puede citar a muchos estudios más que corroboran la eficiencia de los materiales orgánicos como adsorbentes para descontaminar el agua.

El enfoque de la investigación está orientado a tratar los efluentes líquidos, ya que la problemática más resaltante que resultan de actividades mineras artesanales en el ambiente es la contaminación de las aguas por el vertimiento de líquidos residuales con alto contenido metálico, principalmente Zn, Cd, Hg, Cu, Fe y Pb. Estos contaminantes al ser volcados a los cuerpos superficiales de agua y hacer contacto con los seres vivos pueden causar diversas complicaciones en la salud. La extracción aurífera artesanal desarrollada en el distrito de Santa Rosa de Quives se realiza mediante el método de amalgamación, la que se incluye insumos como el mercurio y la calidad del agua durante todo el trayecto se ve alterada y al ser vertida al exterior causa desequilibrio en los ecosistemas.

Por ello la presente tesis recoge la problemática existente en esta zona minera y plantea una alternativa viable de solución mediante el Filtro Adsorbente con materiales orgánicos (cáscaras de coco, banano y naranja) para la remoción de metales pesados como el Cu, Fe y Pb contaminantes presentes en los desechos líquidos mineros y así mejorar el nivel de calidad de vida de la población.

1.2. Justificación de la investigación

La presente tesis se justifica tomando como base los siguientes argumentos:

1.2.1. Legal

La ineficiente gobernabilidad en este sector ha sido un factor de mayor impedimento para el avance del proceso de formalización y del otro lado el incremento en el precio del oro a nivel internacional y la riqueza aurífera de nuestro país conforman razones poderosas lo que explican el aumento y/o inicio de las actividades mineras artesanales informales e ilegales en muchas regiones del país (Medina, 2013).

Las características negativas más resaltantes de la minería artesanal informal son: Sobreexplotación de los recursos, ocupación de áreas mineras de propiedad privada o del

estado ilegales, falta de conocimiento de soluciones técnicas e inadecuadas prácticas ambientales (Medina, 2013). Este problema se agudiza precisamente cuando la intervención del estado es casi nula al brindar asistencia técnica, transferencia de tecnologías eco eficiente y políticas ambientales de control, supervisión y fiscalización (Consejo Internacional de Minería y Metales, 2012).

Esta situación puede ser diferente si se capacita, se entrena, se agrupa, se implementa técnicas sostenibles de remediación de efluentes económicamente viables y eficientes para lograr el cumplimiento de las normativas y leyes aplicadas al sector minería, reducir los impactos a los ecosistemas, generar mayor acogida por parte de la población e impulsar la formalización de las mismas (Santoyo, 2017).

1.2.2. Social

La minería con mejora en sus procesos de extracción, producción y procesamiento de los minerales trae consigo cuantiosos beneficios a nivel social. Debido a que sus operaciones están bajo regulación, los trabajadores laboran en condiciones más seguras y salubres lo que implica menos enfermedades, menos accidentes y por consiguiente una mejora en su calidad de vida.

Por otra parte la legalización de la minería informal aporta al desarrollo social gracias a los impuestos obtenidos, los cuales son distribuidos por el estado a los gobiernos regionales y locales para realizar obras, cumplir con los planes y metas de gobierno para mejorar las condicionantes sociales.

El tratamiento efectuado a los efluentes de origen mineros y el cambio de tecnología abrirá la posibilidad de impulsar a la minería artesanal a que opere en términos ambientales, económicos y sociales más eficientes, empujando a este grupo social a la realización,

innovación y transformación. Es de ésta forma que la minería informal se convertiría en “emprendimiento” (Cárdenas, 2017).

1.2.3. Económico

Para Martínez (2017) la minería es necesaria y compatible con el desarrollo sustentable, ha sido el motor de crecimiento y desarrollo en el Perú. En estos últimos años este sector se ha acrecentado considerablemente, por el alza de la demanda y precio de los metales, además del fomento de inversiones por empresas extranjeras lo cual derivó en un incremento rápido del número de proyectos para explorar y explotar las minas en el país (Luque, 2016). De igual forma, la minería informal se ha ampliado en el país logrando ingresos que compiten con la minería formal, pero si ocasionan cuantiosas pérdidas económicas, ya que este tipo de minería no aporta canon ni impuestos, sumado a ello genera impactos negativos al ambiente ya que no cumple con la normativa vigente.

Por lo tanto es necesario la implementación y promoción de nuevos sistemas, métodos y tecnologías que ayuden al cumplimiento de los estándares requeridos para su formalización, asunto que conviene al estado por los beneficios que se obtendrían del pago de los impuestos.

El proceso de tratamiento de efluentes minero-metalúrgicos mediante el uso de adsorbentes orgánicos no es costoso, ya que los materiales los encontramos en abundancia; son residuos que para algunos “ya no tienen ningún potencial de aprovechamiento”, sin embargo, estos materiales que en su gran mayoría se desperdician pueden servir de materia prima para otros procesos de reaprovechamiento por ejemplo como biosorbentes de iones metálicos.

1.2.4. Técnico

Tratar los efluentes mineros se está convirtiendo en una actividad común en todo el mundo, en algunas partes por la escasez de agua, otros porque la legislación existente es más exigente y el control y fiscalización son mayores. La preocupación más grande para la

creación de nuevas regulaciones viene siendo la salud humana y la vida acuática. Según Cárdenas (2017) la minería aurífera indudablemente produce impactos al ambiente, sin embargo si se implementara tecnologías, estudios de impacto ambiental adecuados, éstos podrían ser mitigados u eliminados.

La aplicación de una tecnología reproducible a bajo costo, poco mantenimiento y sencilla en su operación permitirá el tratamiento de las aguas ácidas de la minería artesanal – informal de la zona de Santa Rosa de Quives.

1.2.5. Ambiental

Los resultados de las operaciones de mineras como derechos de agua han acarreado una gran preocupación tanto en la parte ambiental, la salud y el suelo, la gran cuantía de metales pesados representa una amenaza potencial por su toxicidad, bioacumulación y resistencia que ponen a la degradación bioquímica (Barenys, y otros, 2014).

En nuestro país la parte legislativa ambiental se enfoca principalmente a proteger la salud ambiental, aprovechar los recursos de forma sostenible y a prevenir su deterioro (Ministerio del Ambiente - Minam, 2005). La “Ley General del Ambiente” ley 28611 dentro de sus 154 artículos apoyan este fin. Además de esta existen otras normativas que permiten el control y regulación de los parámetros para prevenir sus efectos al ambiente y a la salud; uno de ellos y de gran importancia es el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM (Límites Máximos Permisibles (LMP) respecto a efluentes Líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicos).

Siendo que es necesario ejecutar las actividades de manera eficiente sin o la mínima afección a los recursos (suelo, agua) y calidad del aire, resulta vital implementar tecnologías que promuevan la conservación y ayuden a atenuar los impactos provocados por las operaciones mineras.

El tratamiento de efluentes mineros mediante bioadsorbentes permitirá no solo obtener agua para diferentes usos de la población aledaña y evitar contaminar los cuerpos receptores del área en estudio, sino que se abriría la posibilidad de impulsar a la pequeña y minería artesanal que opere en términos ambientalmente, económicamente y socialmente más eficientes.

1.3. Presuposición filosófica

En Génesis 1:26 Dios dio al ser humano el derecho y la autoridad para trabajar y administrar los recursos de la tierra. La creación fue dispuesta a los seres humanos generosamente para su sustento y bienestar, por lo tanto, el hombre tiene la responsabilidad de relacionarse cuidadosamente con ella. Nuestro rol en éste tiempo no es actuar de forma pasiva, sino que debemos ser actores en la disminución de la contaminación, involucrados en la búsqueda de alternativas que permitan preservar y mantener los recursos naturales.

“En una época en que el hombre se ha olvidado de sus orígenes y está ciego respecto a las necesidades más esenciales para su supervivencia, el agua, junto con otros recursos, se ha convertido en víctima de su indiferencia”. Rachel Carson.

La introducción de contaminantes al aire y agua, el uso incrementado de los recursos, la tala indiscriminada de los bosques y vida silvestre están en desacuerdo con los propósitos divinos. Nuestro bienestar, reflejado en la forma en cómo se brinda atención al entorno ambiental requiere de esfuerzos compartidos. Necesitamos desafiarnos a trabajar conscientemente para elevar los niveles personales y ambientales a fin de gozar de una calidad de vida.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la remoción de metales pesados de efluentes minero-metalúrgico mediante filtro bioadsorbente con libras lignocelulósicas en Santa Rosa Quives, Lima.

1.4.2. Objetivos específicos

- Obtener y preparar los materiales orgánicos (cáscaras de plátano, coco y naranja)
- Caracterizar y determinar los parámetros fisicoquímicos y metales pesados del efluente.
- Diseñar un sistema de tratamiento compuesto por un filtro adsorbente con materiales orgánicos.
- Determinar los parámetros óptimos en la remoción de metales pesados aplicando diseño de experimentos de superficie de respuesta y comparar con los Límites Máximos Permisible (LMP) para efluentes minero-metalúrgicos.
- Determinar el porcentaje de remoción de las propiedades fisicoquímicas y metales pesados del tratamiento óptimo del efluente minero.

CAPÍTULO II

REVISIÓN LITERATURA

2.1. Antecedentes

Existen cuantiosos estudios dónde se analizaron el poder adsorbente de materiales orgánicos en la remoción de contaminantes del agua. Algunos de estos ejemplos se detallan a continuación.

Tabla 1.
Estudios con bioadsorbentes

Bioadsorbente	Ion metálico	pH	Temperatura (C°)	Remoción (%)	Tiempo de contacto (min)	Tamaño de partícula	Lugar	Referencia
Cáscaras de ñame y bagazo de palma	Ni(II) y Pb(II)	6	25	92.58 mg/g y 98.04 mg/g	150	0.5 mm	Cartagena, Colombia	(Tejeda, Gallo, Moscote, Villabona y Acevedo, 2018)
Cáscara de maní	Cu y Ni	3	18-23	69.9 %, 45.7%	30, 60	12.7 mm	Chile	(Tapia, Pavez, Garrido y Sepúlveda, 2018)
Algas rojas, cáscaras de naranja y tuna	Cd, Pb y Zn	4.5	28	Cd y Pb 95%, Zn 62%	180		Guajira, Colombia	(Vizcaino y Fuentes, 2015)
Cáscara de naranja, Limón y Mandarina	Ar, Cr, Pb	4--7	Ambiente	Naranja: 43.13 % Ar, 17.65% Limón: 40.89% Ar, 11.76% Cr Mandarina: 43.64% Ar y 71.95% Pb	15 min	180-250 um	Arequipa	(Laura, 2018)
Marlo de maíz	Cr, Pb	4.19, 4.31	-	>80%	120 min	0.224 mm	Cuenca Ecuador	(Pintado, 2018)
Cáscara de coco	Pb (II), Cu(II) y Fe(II)	5--7	100, 50	94 (+-3.2), 92(+2.8) y 94(+1.4)	30, 90 min		Nigeria	(Abdulrasaq y Basiru, 2010)
Cáscara de Naranja	Pb (II) y Zn (II)	5	50	99	120 min y 240 min	0.48 mm	México	(Cardona, Cabañas y Zepeda, 2013)
Residuos de cacao	Pb y Cd	6	30	91,32 y 87,80	270 min	0.5 mm	Cartagena, Colombia	(Lara, Tejeda, Villabona, Arrieta y Granados, 2016)
Cáscara de almendra	Cu (II)	5	25	9,44 mg/g	120 min	1 mm	España	(Calero, Hernáinz, Blázquez, Dionisio y Martín, 2011)
Cascarilla de arroz	Cd y Ni	6	Ambiente	98 y 96	120 min	-	Colombia	(Córdoba, Hoyos, Rodríguez y Uribe, 2016)
Cáscaras de plátano	Mn (II)	8	25	94	60 min	-	Corea del Sur	(Ali A. , 2017)

Nuestro país es un gran productor de cítricos y derivados, pero gran porcentaje de los residuos generados no se utilizan en toda su potencialidad (Muñoz, 2007). Por ello, la investigación presenta una alternativa de aprovechamiento en remoción de contaminantes metálicos.

2.2. Marco legal

La conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Humano que se dio en Estocolmo en junio de 1972 fue el primer esfuerzo mundial direccionado a enfrentar los problemas ambientales, es considerada como el punto de inicio de la política ambiental moderna, donde participaron 110 países (Ortiz, 2005; Valcárcel, 2007). A partir de eso se han propiciado una serie de encuentros y documentos internacionales con el objetivo de proteger el medio ambiente, estableciendo y adecuando estándares de protección ambiental.

En nuestro país en la Constitución Política del Perú- Título III, Capítulo II: Del ambiente y los Recursos Naturales menciona que:

Artículo 66°.- “Los recursos naturales, renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación. El Estado es soberano en su aprovechamiento. Por ley orgánica se fijan las condiciones de su utilización y de su otorgamiento a particulares. La concesión otorga a su titular un derecho real, sujeto a dicha norma legal”.

Artículo 67°.- “El Estado determina la política nacional del ambiente. Promueve el uso sostenible de sus recursos naturales”.

Artículo 68°.- “El Estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas”.

Artículo 69°.- “El Estado promueve el desarrollo sostenible de la Amazonia con una legislación adecuada”.

La ley 28611, “LEY GENERAL DEL AMBIENTE” - estipula que “los ciudadanos tienen derechos a tener un ambiente en condiciones saludables, equilibradas y apropiadas para el

desarrollo de la vida”; así mismo deberes, en la medida en que todos estamos obligados a ayudar a gestionar y proteger efectivamente el medio ambiente.

La minería ha traído serias repercusiones al ambiente que han ido en aumento, por ello para este sub sector de Energía y Minas se creó la Dirección de Asuntos Ambientales para solucionar los daños ocasionados, al asumir esta responsabilidad y luego de realizar una investigación minuciosa, se decreta los Niveles Máximos Permisibles (NMP) para aquellos elementos que contaminan las aguas, el aire y el suelo generados en el medio de la industria Minera-Metalúrgica, cuyo Registro Ministerial es el 011.96.EM/VNM, la misma que fue derogada por el D.S 010-2010-MINAM “LMP” para actividades cuyas descargas provengan de actividades Minero-metalúrgicas.

Por otro parte se ha generado un nuevo marco legal para erradicar la minería ilegal en el país y, en lo posible, promover su formalización. A inicios del año 2002 se promulgó la Ley N° 27651-“LEY DE FORMALIZACIÓN Y PROMOCIÓN DE LA PEQUEÑA MINERÍA Y MINERÍA ARTESANAL” (Reglamento D.S. 013-2002-E.M) con la que se crea el marco jurídico apropiado que permitió el reconocimiento de manera oficial de la Minería Artesanal e incluso señala las condiciones básicas para la integración de ésta en el sector de la economía formal.

2.3. Minería artesanal en el Perú

Perú es un líder global en la industria minera, se impone a nivel mundial como uno de los productores de metales básicos y preciosos. Actualmente, es el tercer mayor productor de cobre y zinc en el mundo. Perú también ocupa una alta posición en la producción de oro, plata y otros minerales. El éxito del sector minero peruano radica no solo en la abundancia de recursos naturales ricos, sino también en un atractivo régimen legal y fiscal diseñado para apoyar a la industria (García M. , 2017).

En sus comienzos la minería artesanal era desarrollada ocasionalmente por personas que recién se unían a la labor, el mayor porcentaje lo conformaban campesinos de las comunidades aledañas a los centros mineros quienes tenían a la agricultura como actividad primordial. Lo que les movía a involucrarse a la minería era la idea de mejorar sus ingresos económicos para el sustento de sus hogares. La minería artesanal se estableció como una importante fuente de empleo en las comunidades constituidas por relaciones amicales, de parentesco por afinidad, consanguinidad y de acuerdo a sus lugares de proveniencia. Estas organizaciones se han articulado de diferentes maneras: desde épocas coloniales, en Puno; por las décadas de 1930, en Patáz y Madre de Dios; desde la época de 1980 en el Sur medio y hace unos atrás, en el 2004, en Canta (Pachas, 2011).

La minería artesanal es un medio para el sostenimiento de familias enteras en lugares donde no militan o han desaparecido las actividades que requieren gran cantidad de trabajadores como la agricultura. En nuestro país, esta actividad se ha incrementado ya que representa una mezcla de persistencia y oportunidad. Siendo Madre de Dios, uno de las jurisdicciones con menos población, el hallazgo de oro provocó que las regiones más pobres inmigraran masivamente. Aparte de esto, en el medio sur, la huida de pobladores de zonas golpeadas por la el terrorismo y la presencia de depósitos de oro poco atractivos para las compañías mineras, esta actividad se ha efectuado a tal punto de convertirse en la primordial actividad económica del lugar (Kuramoto, 2001).

Este aumento dramático en la minería ha estado acompañado por un aumento en el conflicto y la violencia en torno a las operaciones mineras a gran escala en las remotas y abrumadoramente pobres tierras altas andinas de Perú. Las comunidades locales han intentado bloquear proyectos mineros porque temen que contaminen las tierras locales y las fuentes de agua. Expresan su frustración de que, a pesar de las enormes ganancias obtenidas por las compañías mineras que operan en su medio, las vidas de la población local no han

mejorado (Slack, 2009). Cuarenta por ciento de todos los peruanos viven en la pobreza; en los Andes, las tasas de pobreza superan el 70 %. La defensoría pública del gobierno peruano, Defensoría del Pueblo, hace poco contó más de 70 conflictos activos alrededor de las operaciones mineras repartidas por todo el territorio (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2008).

Es preciso mencionar que casi la mayoría de comunidades rechazan los proyectos de explotación debido a la contaminación del ambiente y afectación de sus recursos básicos de los cuáles ellos se abastecen. Tomando como base la institución de la ley 27651 “Ley de Formalización y Promoción de la Pequeña Minería y Minería Artesanal” en el 2002, el estado peruano se ha venido involucrando más con la minería artesanal y la de pequeña escala para impulsar las mejoras referentes a tecnologías, mejora económica del país, mejor gobernabilidad, cumplimiento de los estándares ambientales y devolver la credibilidad a dicha actividad.

2.3.1. Tipos de minería

Según el Perú Support Group (2012) las categorías de la minería en Perú según el tamaño y tipo se relatan en la siguiente figura.

	Tipo:		
	Ilegal	Informal	Formal
Tamaño:			
Artesanal (<25 toneladas/día)	X	X	X
Pequeña escala (<350 t/d)	X	X	X
Mediana escala (<500 t/d)	X	X	X
Gran escala (>5000 t/d)			X
Nota: En este informe, el término 'ASM' se usa para referirse a todas las categorías de minería descritas en rojo arriba. Las operaciones "no formales" son aquellas sombreadas en gris oscuro. La minería ilegal e informal a gran escala está excluida de este grupo ya que no hay ejemplos de esto en Perú			

Figura 1. Categorías de minería del Perú (Peru Support Group, 2012).

2.3.1.1. Minería artesanal

Según Peru Support Group (2012) la única característica que define la minería artesanal es su tamaño. En la “Ley de Formalización y Promoción de la Pequeña Minería y la Minería Artesanal” N°27651 (2002), las operaciones artesanales son aquellas que se benefician de hasta 1,000 hectáreas de tierra y que excavan menos de 25 toneladas métricas de material por día. Mientras que, para la United Nations Environmet Programme (2012) la minería artesanal se caracteriza por inversiones de bajo costo en tecnología básica, como cinceles, picos, palancas, carretillas, etc.; uso intensivo de mano de obra sin medidas para salvaguardar la seguridad, la salud o el medio ambiente, además de una ausencia total del Estado de las áreas mineras, define aún más su contexto. Tanto en las fases de extracción como de procesamiento, el uso de mercurio se destaca como un peligro.

Los encargados de la extracción de minerales artesanalmente no disponen de los recursos suficientes para adquirir maquinarias especializadas como: volquetes, cargadores frontales, retroexcavadoras, etc. sino que utilizan herramientas como: combas, barretas, picos, palas, carretillas, cinceles, etc. equipos básicos que pueden ser operados manualmente y es por esa razón que requieren de gran cantidad de personal obrero.

En términos generales, la minería artesanal y a pequeña escala hace referencia a la minería por personas, grupos, familias o cooperativas con mínima o ninguna mecanización, a menudo en el sector informal (ilegal) del mercado (World Business Council for Sustainable Development , 2002).

2.3.1.2. Pequeña minería

Según la ley N° 27651, ésta clase de minería es una actividad ejercida a una escala de menor magnitud, su nivel de producción y/o beneficio supera a la minería artesanal porque no se encuentra limitada a utilizar métodos manuales y equipos básicos, pero no se compara con la mediana y gran minería. La pequeña minería no es una actividad de supervivencia sino una

con ánimo de lucro porque quienes la realizan cuenta con un capital, el cual invierten para obtener una utilidad; diferente a aquellos que se dedican a la minería artesanal cuyo fin de trabajo es para solventar sus necesidades básicas, en ese sentido el pequeño productor minero puede solventar las obligaciones de carácter ambiental, de seguridad y de salud ocupacional de mejor forma que en la minería artesanal.

La capacidad de producción de la pequeña minería obliga a utilizar volquetes, cargadores frontales, retroexcavadoras, entre otros, dejando de lado a los equipos básicos y métodos manuales, por lo que no genera el nivel de empleo de la minería artesanal, es más se estila contar con los servicios de contratistas mineros para efectuar las acciones de explotación y beneficio (Galiano, 2016). Se diferencia de la minería artesanal por la presencia de instalaciones establecidas una vez que se confirme la existencia de un cuerpo de mineral (World Business Council for Sustainable Development , 2002).

2.3.1.3. *Minería Informal*

Las operaciones mineras informales no cumplen completamente con toda la legislación peruana relevante y, con todo, no pueden clasificarse como operaciones formales. Se pueden realizar en cualquier escala. Empero, a diferencia de las operaciones ilegales, los mineros informales tomarán medidas activas para clasificarse en legalmente registrados y con licencia completa. A menudo se enfrentan a importantes barreras para completar con éxito esta transición y pueden quedar atrapados en la informalidad durante un período prolongado (Peru Support Group, 2012). Para Paredes (2011) la minería informal es la que se desarrolla en lugares autorizados para dicha actividad, sin embargo tiene características de minería ilegal y los que lo realizan están en proceso de formalización.

2.3.1.4. *Minería ilegal*

Las operaciones mineras ilegales tienen poco o ningún interés en registrarse oficialmente; se centran principalmente en ganancias a corto plazo y es probable que tengan

las peores prácticas ambientales y laborales. Al igual que con las operaciones informales, la minería ilegal puede llevarse a cabo en cualquier escala (Peru Support Group, 2012).

Abarca las actividades mineras que se ejecutan sin cumplir con los requerimientos de las reglas de carácter administrativo, social, técnico, y ambiental que demandan dichas actividades. Se hallan ubicadas en lugares no autorizadas y son dirigidas por personas naturales o jurídicas, o por grupos de personas bien establecidas para tal fin (Paredes, 2011).

2.4. Proceso artesanal de la minería

a) Extracción

Los grupos de mineros explotan yacimientos de roca dura o depósitos aluviales. Se elimina el sedimento o recubrimiento, se excava y se saca el mineral a la superficie a través de la tunelización o el dragado (para la minería aluvial) (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2015).

b) Procesamiento

Aquí, se separa el oro de los demás minerales. Los métodos usados en esta etapa varían según el tipo de depósito; en los depósitos aluviales, las partículas de oro generalmente se encuentran separadas por lo que no requieren de muchas operaciones mecánicas. A diferencia de las formaciones de roca dura, que requiere un tratamiento más complejo de trituración y molienda. En esta clase de minería, la trituración primaria se realiza manualmente con martillos o máquinas, luego se muele los minerales en molinos para obtener partículas de menor tamaño y, por último, lograr un polvo muy fino (Organización Mundial de la Salud, 2017).

c) Concentración

Este proceso se utiliza en algunos casos para separar aún más el oro del resto de materiales. Para concentrar el oro liberado puede utilizarse diversos métodos y tecnologías (ej. centrifugas, mesas vibratorias, esclusas, etc.). En comparación con otros materiales, la

densidad del oro es más elevada que la de otros elementos con los que está combinado. En ese sentido, la mayoría de las técnicas emplean para la concentración, la gravedad (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2012).

d) Amalgamación

Para lograr una aleación de oro y mercurio denominada "amalgama" (ambos elementos en partes prácticamente iguales) se utiliza el mercurio elemental. En la minería artesanal existen dos métodos principales para la amalgamación: De todo el mineral y la concentrada (PNUMA, 2015).

En la amalgamación de todo el mineral primero se tritura, se concentra y luego se añade el mercurio elemental en grandes cantidades (de 3 a 50 unidades por unidad de oro obtenido) de los cuales la mayor cantidad se desecha como residuo entre los relaves mineros, ya que el resultado de este proceso no es eficaz (PNUMA, 2015; Sousa, y otros, 2010).

En el caso de la amalgamación concentrada, el mercurio se añade específicamente a la cantidad más diminuta de material ("concentrado") que resulta del proceso anterior. Por consiguiente, generalmente la cantidad de mercurio utilizada es mucho menor, que bien podría recuperarse (PNUMA, 2015).

e) Quema

En este paso denominado "quema abierta", el mercurio se evapora a la atmósfera. El oro que se obtiene de la quema de la amalgama es poroso y se le denomina a este como "oro esponjoso" (PNUMA, 2015)

f) Refinación

En este proceso se calienta nuevamente el "oro esponjoso" para deshacerse del mercurio residual y sustancias que no son de interés. Este tipo de labor expone a los mineros y personas aledañas a los sitios de procesamiento, a un conjunto de riesgos medioambientales que afectarán su salud (OMS, 2017).

2.5. Impactos de la minería artesanal al ambiente

El sector minero es asociado por muchos directamente con contaminación, esta actividad ha sido el meollo de muchos conflictos y protestas en el país. No es un secreto que la minería desarrollada irresponsablemente es fuente de muchos daños al ambiente como los que se mencionan a continuación.

2.5.1.1. Efectos en la salud

La contaminación es un problema ambiental trascendente provocado por la minería artesanal. El uso exagerado y poco eficiente del mercurio para la amalgamación de oro ha sido la causa de la pérdida y la introducción en el medio ambiente de grandes cantidades tanto líquida como en forma de gases (Mosquera, Trillo y Luján, 1999).

Todos los metales y elementos químicos existentes en la naturaleza, tienen un efecto en la salud del ser humano, dependiendo de su toxicidad, tiempo de exposición, concentración y vías de entrada. Según Eróstegui (2009) el elemento metálico y químico tóxico tiene un mecanismo de acción y un lugar de acumulación específico.

- **Cobre**

- **Vías de entrada al organismo:** Inhalación e ingestión de bebidas y alimentos contaminados.

- **Efectos para la salud:** Normalmente se encuentra en el agua potable de las tuberías de cobre, además de algunos compuestos que se adicionan para controlar el crecimiento de las algas (ECURED, 2019). El cobre es un elemento traza esencial para la salud de los seres humanos, sin embargo, éste, en grandes cantidades puede ser perjudicial. Exposiciones prolongadas a este metal causa irritación a los ojos, nariz y boca, causa dolor de cabeza, de estómago, mareos, vómitos y diarreas. Por otro lado una ingesta grande de cobre puede

causar daños a los riñones, al hígado e incluso puede causar la muerte. No se sabe a ciencia cierta si es cancerígeno (Rodríguez, 2017; Dhir y Kumar, 2010).

La exposición aguda al sulfato de cobre por ingesta puede generar necrosis hepática, hasta incluso, la muerte. La exposición crónica de alimentos conservados en recipientes de cobre genera lesión hepáticas en niños (Ramakritinan, Chandurvelan y Kumaragur, 2012).

- **Hierro**

Un problema de salud importante conocida como “anemia” es producida por la falta de hierro, lo que lleva a comprender que este es un elemento indispensable para el ser humano. Sin embargo, muchos estudios realizados por profesionales (bioquímicos, médicos, nutricionistas, etc.) concuerdan y han dado evidencias de que el exceso de hierro puede ser fatal, comparada con la anemia que es un tema solucionable y que habitualmente no atenta contra la vida (Amatriain, 2000).

Cuando hay un excesivo consumo de hierro, o se abusa de los suplementos enriquecidos con este, no es fácil que el cuerpo pueda metabolizar el exceso que absorbe, y una vez de que la ferritina se ha saturado, el sobrante se almacena como hemosiderina; lo que conlleva a una grave enfermedad llamada hemosiderosis, excesivos depósitos de hemosiderina en el bazo y el hígado y; hemocromatosis, excesivo depósito de hierro en los tejidos corporales. Los síntomas de estas enfermedades incluyen: Dolores de cabeza, adelgazamiento, y cuando el hierro se acumula en los tejidos, provoca una coloración grisácea en la piel (Amatriain, 2000; Toxqui, y otros, 2010).

Dosis de 900 mg de hierro puede ser letal, aún si se dividen en el orden de 250 a 300 mg diarios, un déficit de vitamina B6 puede provocar que se absorba y almacene 18 veces más el hierro que en condiciones normales, lo que puede causar la muerte. Por otro lado, puede provocar abortos si se ingiere en exceso durante el embarazo, ya que destruye la

vitamina E y por ende reduce el aporte de oxígeno a la madre y al feto; además de malformaciones, o defectos mentales en el bebé (Amatriain, 2000).

- **Plomo**

- **Vías de exposición:** Ingesta de alimentos y bebidas contaminadas, además de inhalación de vapores del metal generadas por combustión de algunos materiales (Zurera, Estrada, Rincon y Pozo, 1987; Rodríguez, 2017).

- **Efectos para la salud:** Un alto nivel de exposición pueden afectar la síntesis de hemoglobina, el tracto gastrointestinal, el funcionamiento de los riñones (los metales pesados a la larga van a producir daño renal que puede llegar hasta una insuficiencia renal), las articulaciones y el sistema nervioso. La intoxicación aguda se acompaña de alteraciones digestivas, dolores epigástricos y abdominales, vómitos, alteraciones renales y hepáticas, convulsión y coma. En tanto, la intoxicación crónica puede implicar neuropatías, debilidad y dolor muscular, fatiga, cefalea, alteraciones del comportamiento y renales, aminoaciduria, glucosuria, nefritis crónica, encefalopatía, irritabilidad, temblor, alucinaciones con pérdida de memoria, cólicos y alteraciones hepáticas, entre otros (Rodríguez, 2017; Eróstegui, 2009).

La intoxicación por plomo varía de acuerdo a la edad de la persona y su nivel de exposición. Afecta varios sistemas, entre ellos el sistema nervioso; llega a dañar a las neuronas, especialmente las del cerebro; afecta también a la médula ósea y se lo ha ligado últimamente con la generación de conductas antisociales, y también hay una relación con retraso mental y pérdida de habilidades cognitivas (Eróstegui, 2009).

El arsénico y el plomo son dañinos para la salud de las personas según la Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2007). El arsénico está clasificado como carcinógeno humano conocido y plomo como probable carcinógeno humano (International Agency for Research on Cancer, 2012). Tanto el arsénico como el plomo presentan mayores riesgos de

efectos adversos para la salud de los niños, incluidas la reducción de las capacidades cognitivas (Tyler y Allan, 2014).

2.5.1.2. *Efectos en el suelo*

La acumulación de elementos metálicos pesados en el medio terrestre se ha transformado en una dificultad mundial (Duruibe, Ogwuegbu y Egwurugwu, 2007; Tóth, Hermann, Szatmári y Pásztor, 2016). A medida que cantidades excesivas de metales ingresan a la litósfera la calidad del suelo disminuye, seguida de una reducción en la productividad del suelo y la seguridad alimentaria (Alloway, 2013; Wuana y Okieimen, 2011). Las concentraciones dañinas de arsénico y plomo en el suelo pueden ser el resultado de la extracción y procesamiento de metales, la fundición, el uso de pesticidas y fertilizantes y las actividades de otras industrias (Wuana y Okieimen, 2011).

De otro lado, los movimientos de la tierra durante la extracción de mineral pueden ser un problema serio por la alteración topográfica de un área y su capacidad para regenerar la flora y la fauna (Gallarday, 2006). Causa el aumento de la erosión debido al corte y la quema de bosques, como también los grandes volúmenes de movimientos de tierra realizados con el fin de explotar los yacimientos de oro. En las operaciones donde se usa equipo pesado, la tierra se compacta de tal manera que la vegetación ya no crece, aparte del daño causado por la contaminación de lubricantes y combustibles. Además, los vertederos producidos a través del tratamiento de las gravas de oro, reducen la capacidad del suelo para retener la humedad e impedir el crecimiento de la vegetación. En otros casos se observa un gran movimiento de material en los flancos de las montañas y en los cursos de los ríos. Esto está contribuyendo a la erosión y los consiguientes peligros de los deslizamientos de tierra, la sedimentación en los ríos y la desaparición de las marismas que existían antes, las tierras de pastoreo y los refugios para las aves silvestres. Si bien sabemos que el suelo al recibir materiales tóxicos, puede estabilizarlos y volverlos inofensivos, esta capacidad tiene un límite (Kuramoto, 2001).

2.5.1.3. *Efectos en el aire*

La afectación de la calidad del aire es una preocupación importante en la minería a cielo abierto (Huertas, Huertas y Solís, 2012). Estas contribuyen con grandes sumas de PM al espacio circundante que son muy perjudiciales para las personas y el medio ambiente (Zhang, Chen, Ma y Zhan, 2013 ; Roy, Gautam, Singh, Singh y Das, 2016). La contaminación atmosférica debida al PM aerotransportado solo y en asociación con contaminantes gaseosos ha sido responsable de varios impactos globales, regionales y locales que incluyen la modificación de la propiedad de la nube, el cambio climático global (Kalogmomou y Moussipoulous, 2005), la lluvia ácida (González y Aristizábal, 2012) el agotamiento de ozono estratosférico (Suparta, Abu y Abdullah, 2013), reducción de la visibilidad y suciedad de los monumentos (Jaswal, Kumar, Prasad y Kafatos, 2013). Mientras que la composición química, mineralógica, número, área superficial y masa de PM influyen en los efectos adversos a la salud, el tamaño de una partícula determina su penetración en partes más profundas de los pulmones y se considera el parámetro más importante para determinar diferentes enfermedades o riesgos para la salud que incluyen enfermedades pulmonares crónicas como cáncer y asma bronquial y bronquitis crónica (Anderson, Thundiyil y Stolbach, 2012).

Según Aswathanarayana (2003) las emisiones atmosféricas durante la minería ocurren no solo por los motores de combustión interna en la maquinaria minera, sino que también se liberan polvo y gases de las explosiones, las rocas y las masas minerales. Los fundidores se usan comúnmente para la purificación de minerales y las emisiones de estos procesos incluyen partículas y gases como el dióxido de azufre, el monóxido de carbono y el dióxido de carbono.

2.5.1.4. *Efectos en el agua*

Uno de los daños de mayor significancia de la minería es el efecto en la calidad y disponibilidad hídrica en la zona donde se ejecuta el proyecto. El drenaje ácido es uno de los problemas ambientales más severos relacionado con la minería. Se origina cuando las aleaciones que contienen sulfuro, están expuestas al oxígeno o al agua, resultando en ácido sulfúrico. La acción de los microorganismos que metabolizan los ácidos casi siempre acelera el proceso. El agua con pH bajo puede posteriormente filtrar otros metales en el suelo, lo que da como resultado la contaminación de las aguas de la superficie y de las que están en el subsuelo. Los pilones de roca residual, otros restos expuestos, los resquicios de las minas y los parapetos de los pozos a menudo son el punto de origen de los efluentes ácidos de un espacio de la mina. Esto puede llevar muchos años, dada la cuantiosa suma de rocas expuestas en algunas áreas mineras. Aunque el proceso es químicamente dificultoso y poco usual, ciertos contextos pueden minimizar la posibilidad de que ocurra. Por ejemplo, si están presentes minerales neutralizantes (por ejemplo, carbonatos), el entorno de pH prevaleciente es básico, o si se toman medidas provisionarias, entonces es menos probable que ocurra drenaje ácido (Schmiermund y Drozd, 1999).

Según Ripley y Redmann (1995) el drenaje ácido afecta la vida acuática cuando las aguas ácidas se descargan en arroyos y aguas superficiales cercanas. Muchos animales acuáticos (peces) son altamente perceptivos incluso a aguas levemente agrias y no pueden procrearse a niveles de pH inferiores a 5. Algunos pueden quedar sin vida si el nivel de pH está por debajo de 6. Además, los impactos en la hidrósfera como resultado de la minería incluyen la disminución del nivel freático, la descarga de agua de la mina a ríos, mares y lagos, fugas de tanques de decantación y evaporadores que tienen un efecto negativo en la calidad del agua subterránea y el bombeo de agua en el suelo para la extracción de un mineral. Los niveles significativamente más bajos de agua subterránea pueden dar lugar a

grandes depresiones superficiales, ríos y lagos drenados con graves impactos en la agricultura circundante (Aswathanarayana, 2003).

2.6. Métodos tradicionales para tratar aguas residuales mineras

Los efluentes residuales que contienen metales pesados a menudo implican tecnologías para disminuir la toxicidad a fin de cumplir con los estándares de tratamiento basados en la tecnología.

2.6.1. Precipitación química

El ablandamiento por precipitación química es un proceso para eliminar los contaminantes mediante la coagulación con aditivos químicos (Seyrig y Shan, 2007). Los procesos de precipitación química más comunes son: ablandamiento de la cal, ablandamiento de cal sodada y ablandamiento cáustico (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2018).

2.6.2. Intercambio iónico (Io)

El Io es como un proceso reversible de tratamiento electroquímico, en el que las contaminaciones e iones objetivo se reemplazan por la misma cantidad de carga de iones presentes en las resinas (Yang, 2014). La breve estructura de éste proceso se muestra en la figura siguiente.

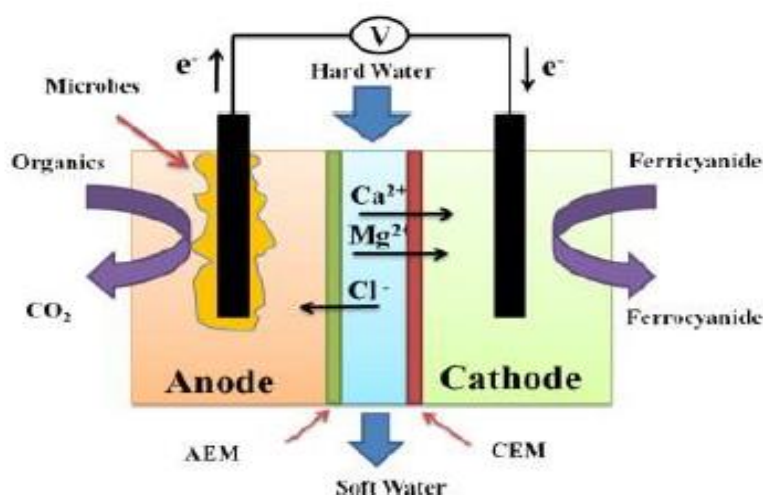


Figura 2. Descripción general del proceso de intercambio iónico (Brastad y He, 2013).

2.6.3. Filtración con membrana

La filtración de membrana se puede utilizar para eliminar sólidos suspendidos y disueltos (Van y Iliev, 2012). Dependiendo del tamaño de la partícula que pueda retenerse, varios tipos de filtración de membrana tales como ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa puede ser empleado para la expulsión de elementos metálicos pesados de las aguas residuales.

- La ultrafiltración (UF): usa presión hidrostática para forzar el líquido contra una membrana semipermeable (Van y Iliev, 2012). Los poros de la membrana son ligeramente más pequeños que en una membrana de microfiltración y, por lo tanto, pueden usarse para la eliminación de sólidos en suspensión; compuestos orgánicos disueltos de alto peso, bacterias y algunos virus (Vigneswaran, Aitchison, McDonald, Khong y Hiller, 2004; Van y Iliev, 2012).
- Microfiltración (MF): es el proceso de eliminación de partículas o entidades biológicas en el rango de 0,025 μm a 10,0 μm de fluidos mediante el paso mediante un medio microporoso como un filtro de membrana (Munir, 2006).
- Nanofiltración: comúnmente utilizado para la desalinización por ósmosis inversa es la nanofiltración (NF). Se usa para ablandar el agua y eliminar contaminantes disueltos, sulfatos, sustancias orgánicas y virus (Van y Iliev, 2012).
- La ósmosis inversa (RO): Es un proceso de separación que utiliza presión para forzar una solución por medio de una membrana que retiene el soluto en un lado y permite que el solvente puro pase al otro lado (Crittenden, Li y Minakata, 2008).

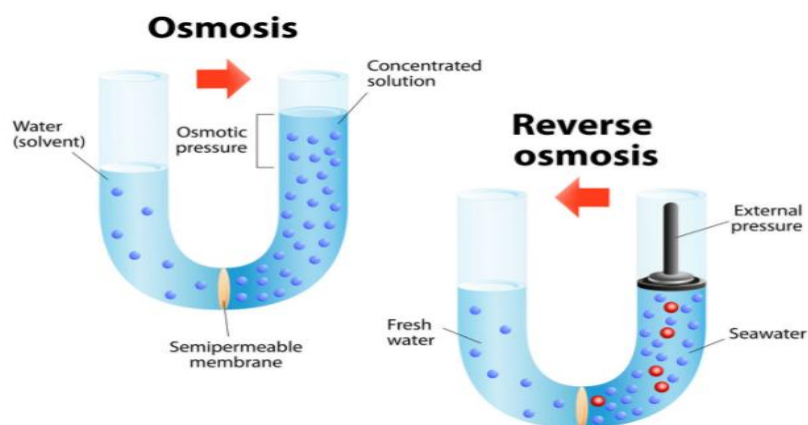


Figura 3. Proceso de ósmosis y ósmosis inversa (Fluence Corporation Limited, 2016).

A continuación, se presenta los cuatro niveles de filtración de membrana. Estos niveles son (desde el tamaño de poro más grande hasta el más pequeño): microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa. Cada nivel tiene un rango de tamaño de poro asociado y se usa para eliminar contaminantes de cierto tamaño.

Tabla 2.

Comparación de los niveles de membrana de filtración (Departamento de Protección Ambiental de Pensilvania, s.f.)

Comparación de los niveles de filtración de membrana				
Niveles de filtración	Microfiltración	Ultrafiltración	Nanofiltración	ósmosis Inversa
Rango de tamaño de poro	0.05 - 1.0 μm	0.005 - 0.5 μm	0.0005 - 0.01 μm	0.0001 - 0.001
Contaminantes objetivos	Material particulado como algas, giardia, crypto, bacterias y arcillas.	Todas las sustancias eliminadas por microfiltros más ácidos húmicos y algunos virus.	Todas las sustancias eliminadas por microfiltros y ultrafiltros más metales disueltos y sales.	Todas las sustancias eliminadas por microfiltros, ultrafiltros, nanofiltros más metales disueltos más pequeños y sales.

2.6.4. Coagulación-floculación

El proceso de floculación de la coagulación tiene como objetivo "cultivar las partículas coloidales mediante la desestabilización de partículas suspendidas" y luego la formación de flóculos mediante adsorción y agregación (Guibal y Roussy, 2007).

2.7. Métodos no convencionales para tratar aguas residuales

Remover los contaminantes de los efluentes mineros mediante los métodos usuales ha sido y aún continúa siendo uno de los inconvenientes que tienen que enfrentar las industrias. Sin embargo, diversas investigaciones han presentado nuevos métodos o llamados también sistemas no convencionales u alternativos, cuyo enfoque está basado en que sean económicamente rentables, con mínima generación de subproductos, de menos consumo de energía y eficaces para reducir contaminantes (Cabrera , 2017). Estos métodos se enumeran a continuación:

2.7.1. Fitorremediación

Para Rubio, Calderón, Gualtero, Acosta y Sandoval (2015) la fitorremediación se presenta como una técnica relativamente nueva, percibida como eficiente, rentable y respetuosa con el medio ambiente, ampliamente aplicable y de bajo costo. Consiste en hacer uso de plantas y aprovechar la capacidad de éstas para eliminar, absorber o hacer inofensivos varios contaminantes ambientales como metales pesados; se puede emplear las macrófitas acuáticas u otras especies acuáticas flotantes en remediación acuática (Flores, Moizes, Salazar y Bravo, 2016).

Según Cristaldi y otros (2017); (Ali, Khan y Anwar (2013) la fitorremediación tiene algunas desventajas como los tiempos del proceso de tratamiento son muy largos, dependiendo del ambiente varias especies no llegan adaptarse y su eficacia suele estar limitada por su velocidad de crecimiento lenta y baja biomasa. Pero sus puntos fuertes están representados porque no interfiere con el ecosistema, requiere poco trabajo y, por lo tanto, es barato; se aplica in situ y tiene gran acogida por las personas.

2.7.2. Biopolímeros

Kanmani, Aravind, Kamaraj, Sureshbabu y Karthikeyan (2017); Cobos de Rangel, Buitrago y Ospina (2017) definen a los biopolímeros como aquellas sustancias derivadas de

la biomasa vegetal, animal o microbiana las cuales son de gran valor asociado al contexto actual de las reservas de petróleo y calentamiento global. Compuestos con peso molecular alto y formado por unidades repetitivas (monómeros).

Industrialmente son muy atractivos porque tienen gran capacidad de reducir concentraciones de iones metálicos, no representan peligro para el ambiente y están disponibles ampliamente. Además de ello presentan grupos funcionales amplios (como hidróxidos y aminas) que maximizan la eficiencia de captar los iones (Barakat, 2011) y para una mejor eficiencia de adsorción en especies metálicas los biopolímeros se someten a procesos físicos-químicos (Verdugo, 2017).

Entre los biopolímeros, la celulosa y el quitosano son muy importantes debido a su abundante disponibilidad, fácil modificación y potencial de aplicación. Pero también se puede mencionar a la lignina, tanino, pectina, almidón, entre otros (Kanmani, Aravind, Kamaraj, Sureshbabu y Karthikeyan, 2017).

2.7.3. Biofiltros

Los biofiltros son sistemas para depurar el agua, conocidos por humedales artificiales y compuesto por un lecho filtrante cuyo material es poroso. Es una buena alternativa por remover altos porcentajes de contaminantes sólidos y cuya implementación es económica (Amangandi, 2017).

2.7.4. Adsorción

El concepto de adsorción según los autores es el siguiente:

- Para Al-Saydeh, El-Naas y Zaidi (2017) se describe como el proceso de transferencia másica, donde el material se transfiere de la fase líquida directamente a la superficie de la fase sólida, después de eso está delimitada con interacciones químicas y / o físicas.

- “Proceso de separación a través del cual algunos componentes de una fase fluida, líquida o gaseosa, son transferidos hacia un sustrato sólido, resultando física o químicamente enlazados a la parte superficial del adsorbente, concepto citado en (Kurniawan y Babel, 2003; Espinosa y Mera, 2015).
- Un concepto similar muestra Lakherwal (2014) al definirlo como un proceso que ocurre cuando un gas o líquido soluto se acumula en la parte superficial de un sólido o un líquido (adsorbente), formando una película molecular o atómica (el adsorbato).

Podemos decir finalmente que se trata de un proceso subsuperficial-difásico en el cual ocurre una interacción de iones o moléculas presentes de un adsorbato (estado líquido) con un adsorbente (estado sólido).

2.7.5. Bioadsorción

Para efectos de diferencia de términos adsorción, absorción y biosorción se presenta la siguiente figura.

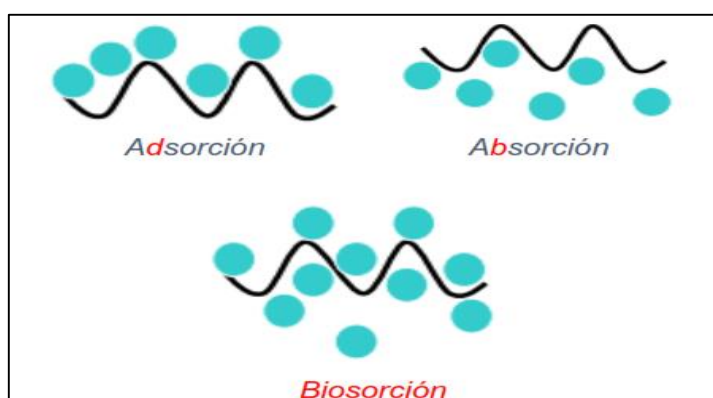


Figura 4. Diferencia entre adsorción, absorción y biosorción (Marshall y Espinoza, 2016)

Tejada, Villabona y Núñez (2015) definen éstos términos como:

- **Adsorción:** Proceso en el cual las moléculas se agrupan en una capa interfacial.

- **Absorción:** Cuando las moléculas llegaron a penetrar la parte interna de la fase sólida.
- **Sorción o biosorción:** llamado así cuando el proceso de adsorción y absorción ocurren de forma simultánea y no se llega a distinguir el uno del otro.

Para Gunatilake (2015) el término engloba una secuencia de procesos, en los que se incluye reacciones de adsorción y precipitación y se trata básicamente de transferencia de iones de una fase de solución a una sólida.

Los responsables de que se llegue a dar la sorción de metales son precisamente los grupos funcionales presentes en los tipos de biosorbentes, que incluyen grupos de hidroxilo, amida y amino, carboxilato, sulfato y fosfato (Deng y Ting, 2005; Miranda y Escobedo, 2017). De éstos grupos el que predomina en gran parte de los biosorbentes es el carboxilo, éste por ejemplo aumenta tanto en número y cambio natural de sitios activos capaces de adsorber metales en solución; pero también muchos microorganismos proporcionan varios potenciales de unión para los metales gracias a sus paredes celulares compuestas de polisacáridos, proteínas y lípidos (Miranda y Escobedo, 2017).

○ **Equilibrio y Eficiencia de Biosorción**

Flores, Marta, Tapia y Maldonado (2001) El equilibrio se logra cuando la concentración soluto adsorbido por el adsorbente (q) y la que está en solución (c) no llegan a sufrir variaciones mayores en el tiempo. Por su parte la eficiencia se logra al evaluar la concentración inicial con el remanente, de allí se observa qué fracción se ha adsorbido en el equilibrio, se expresa en porcentaje:

$$\text{Eficiencia} = 1 - C/C_0 \qquad \% \text{ Eficiencia} = (1 - C/C_0) * 100$$

○ Esquema del tratamiento

El proceso incluye fase líquida y sólida, el proceso puede ocurrir en la misma fase de la disolución o dentro de la misma partícula.

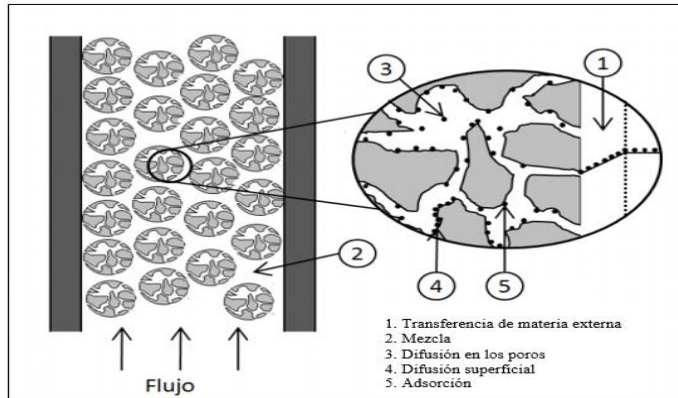


Figura 5. Esquema de tratamiento en el proceso de Bioadsorción en lechos fijos (Izquierdo, 2011).

○ Ventajas y desventajas

Coronel (2017); Tejada , Villabona y Núñez (2015) algunas ventajas y desventajas que resulta del proceso son:

Tabla 3.
Ventajas y desventajas del proceso de Bioadsorción

Ventajas	Desventajas
Costo mínimo de los biadsorbentes, usualmente se usa material de desecho	Cierta biomasa requieren un tratamiento previo
Eficiencia alta, la biosorción presenta un rendimiento aceptable en comparación a un convencional	La inestabilidad química de algunas biomasa las limita
No se generan lodos	Es necesario conocer rangos óptimos de las biomasa
No es necesario la incorporación de nutrientes	La selección de un bioadsorbente depende de cuan disponible esté en cantidad y el costo para ampliar su uso a nivel industrial es reducido
La biomasa puede ser regenerable y llegar a usarse en varios ciclos de adsorción	Se tiene que quitarle los metales retenidos

○ Parámetros que intervienen la bioadsorción

De acuerdo con Boada (2015) los factores principales que actúan en el proceso son:

Tabla 4.

Factores principales que intervienen en la biosorción

Propiedades de los biosorbentes	Tipo de material biosorbente
	pH punto de carga cero
	Tamaño de la partícula
	Superficie específica
Propiedades de la disolución	pH de la disolución
	Presencia de otros solutos
Operación	Tiempo de contacto
	Temperatura
	Dosificación

- *Tipo de material biosorbente.* Además de la porosidad, densidad, forma y tamaño, considerar que cuanto mayor sea el grupo funcional que un biosorbente tenga, mayor será la biosorción de metales.
- *pH punto de carga cero (pH_{zpc}).* Mediante el pH_{ZPC} se describe al biosorbente en su comportamiento ácido-base.
- *Tamaño de la partícula.* Es preferible que el tamaño que presentan las partículas sean pequeñas, así cabe la posibilidad que el área de los poros y de contacto sea mayor, por tanto mayor captación de adsorbato.
- *Superficie específica.* A mayor superficie específica mayor posibilidad de contacto entre sorbato y centros activos disponibles.
- *pH de la disolución.* De manera general mayor será la sorción si se tiene un pH alto, pero el pH óptimo depende de múltiples factores.
- *Presencia de otros solutos.* Iones distintos pueden generar competitividad con el metal objetivo en el proceso.
- *Tiempo de contacto.* Suele ser variante pero vital. Dependiendo del biosorbente, bien puede requerirse un periodo corto o varias horas para un significativo efecto.

- *Temperatura.* Una subida brusca puede acarrear deterioro y disminución de la capacidad del material (Tejada , Villabona y Núñez, 2015).
- *Dosificación.* En estudios realizados se ha visto que hay mayor adsorción cuando la dosis del biosorbente es mayor (Coronel , 2017).

2.8. Adsorbentes de bajo costo

Los adsorbentes a bajo costo para la purificación de aire y agua han llamado la atención de investigadores a nivel mundial (Shalaby, Ewais, Elsaadany y Ahmed, 2017). Los materiales naturales como los residuos de frutas o verduras pueden tener el potencial de ser utilizados como adsorbentes de bajo costo, ya que son recursos no utilizados, ampliamente disponibles y respetuosos del medio ambiente (Changmai, Banerjee, Nahar y Purkait, 2018).

Para que esta tecnología se traduzca como una opción aceptable, es necesario que: a) los adsorbentes se preparen con materiales de fácil disponibilidad; b) los biosorbentes tengan un elevado potencial de adsorción; c) el diseño de los materiales a usar tenga relación con el adsorbato que se quiere remover (Romero, 2018).

2.8.1. Aspectos generales de la cáscara de Coco

La cáscara de coco es considerado generalmente un desecho en abundancia pero tiene una capacidad alta de sorción y esto se debe a su alto contenido en taninos (Agbozu y Emoruwa, 2014). Otro concepto relacionado a este aspecto es el que menciona Makishima, Liz y Carrijo (2002) indicando que las propiedades de este material van a variar, todo está en base a la fuente de la materia y a su procesamiento; una de sus potenciales es que tiene un gran porcentaje de lignina (35 a 45%) y de celulosa (23 a 43%), lo que posibilita la remoción de los metales. Según Han (1998) los residuos de coco están compuestos como se visualiza en la siguiente gráfica.

Tabla 5.
Composición química de la fibra y cáscara del coco (Han, 1998; Huamán, 2005)

Tipo de fibra	Composición Química (% total)							
	Lignina	Ceniza	D-glucosa	L-arabionosa	L-galactosa	L-ramosa	D-xilosa	D-manosa
Cáscara de coco	35.72	-	25.91	0.29	0.32	0.21	23.93	0
Fibra de coco	33.5	-	34.87	0.05	0.36	0.16	16.98	0.12

La cáscara de coco resulta ser un material compuesto de varios componentes, entre ellos la lignina y la celulosa que tienen diversos grupos funcionales polares, incluidos los grupos ácido carboxílico y fenólico, a quienes se les atribuye la eliminación de metales pesados (Agbozu y Emoruwa, 2014).

El “coco” popularmente llamado así, es una fruta perteneciente a la *Arecaceae* obtenida del cocotero (*Cocos nucifera*, única especie). Perteneciente a la regiones tropicales y se caracteriza por poseer un pericarpio (comúnmente cáscara) rígido. Constituido por tres regiones: exocarpo (parte externa y lisa del fruto, cubierta), mesocarpo (parte fibrosa y espesa) y endocarpo (región leñosa, dura). La semilla al final de su estado de maduración es usada para la producción de aceite y obtención de agua de coco. Por su parte al pericarpio ("cáscara") se le utiliza ampliamente en la preparación de carbón activo, presenta alta porosidad y retención de humedad (Magalhães y Neves, 2012).

En la siguiente figura se aprecia las diferentes partes del coco, incluyendo el Mesocarpo fibroso utilizado para obtener del polvo de cáscara de coco.

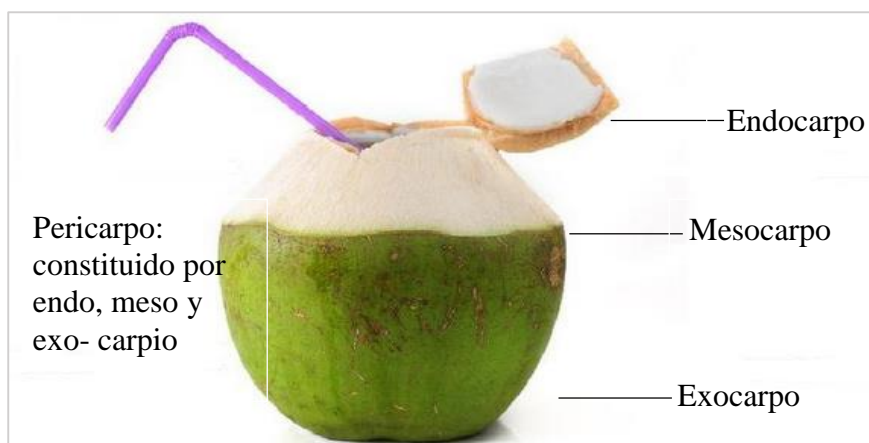


Figura 6. Partes del coco (Nutrition Facts, 2018)

2.8.2. Consideraciones de la cáscara de Naranja

La naranja (*Citrus Sinensis*) comúnmente denominada, es una fruta de lugares subtropicales, de fruto achatado y globoso. La parte externa es de color naranja al estar madura, mientras que el mesocarpo interno (parte interna) es blanco (Garcés y Coavas, 2012). Es destinada principalmente para la producción de jugos, proceso que genera un porcentaje considerable de desechos (cáscaras, pulpa y semillas), los cuales representan un problema sustancial para el medio ambiente. Sin embargo, éstos materiales pueden tener otra utilidad, y ser empleados en la obtención de pectinas, aceites esenciales, buscando potencializar su valor agroindustrialmente y con un impacto medioambiental menor (Cerón y Cardona, 2011).

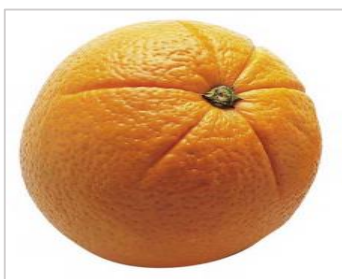


Figura 7. Naranja, biosorbente en estudio.

Según Cardona, Cabañas y Zepeda (2013) la cáscara de naranja presenta un buen porcentaje de pectina, fibra natural que también lo contienen otras frutas y vegetales; cuando

ésta recibe un tratamiento con Ca^{2+} , la remoción de metales se da por un intercambio iónico metal-calcio.

Muñoz (2007) puntualiza que aquellas biomasas con mayor rendimiento y muy usadas en plantas de tratamiento son los que tienen en su composición compuestos alginatos, los que se derivan de la familia de los cactus (la tuna), la pectina y almidones. En el siguiente cuadro se puede apreciar algunos polímeros de origen natural con propiedades biosorbentes.

Tabla 6.
Polímeros naturales con propiedades biosorbentes (Muñoz, 2007).

Nombre común	Fuente de extracción	Se obtiene de
Alginato	Algas pardas marina	Toda la planta
Pectina	Cáscaras de naranja	Toda la cáscara
	Trigo	
Almidones	Yuca	El grano o el
	Papa	tubérculo
	Maíz	
Pectina de Nopal	Opuntia ficus indica	Las hojas

La composición aproximada de la cáscara de *Citrus Sinensis* es básicamente de tres componentes como es la pectina (42.5%), azúcares solubles (16.9%), hemicelulosa (10.5%) y celulosa (9.21%) (Garcés y Coavas, 2012; Cerón y Cardona, 2011).

La pectina se trata de una mezcla muy ramificada de polímeros ácidos y neutros. Representan el 30% de peso seco en células vegetales (pared celular); proveen superficies cargadas que regularizan el pH y el balance iónico. La hemicelulosa presenta cadenas ramificadas con polimerización menor, su estructura química son cadenas largas de variedad en pentosa, en hexosa y ácido urónico. La celulosa es un polímero lineal, de cadenas largas, con peso molecular y grado de polimerización altos. Tiene grupos $-\text{CH}_2\text{OH}$, el no tener cadenas laterales permite el acercamiento de las moléculas unas hacia otras para formar estructuras rígidas (Gerena, 2013; Garcés y Coavas, 2012).

2.8.3. Generalidades del Plátano

El plátano es una fruta tropical cultivada en lugares cálidos y cosechados durante todo el año Comim, Madella, Oliveira y Ferreiraa (2010) de la familia *Musaceae* y son una de las frutas más consumidas en el mundo, representando un importante cultivo de fruta en las regiones tropicales y subtropicales. El principal residuo de banano es la cáscara de la fruta, que representa el 30-40% del peso total del fruto. Existen pocos usos industriales para las cáscaras de plátano, y son un gran desperdicio agrícola en diferentes regiones del planeta (Albarelli, Rabelo, Santos, Beppu y Meireles, 2011).

(Ahmad y Danish, 2018) señalan que las especies de banano aptas para el consumo pertenecen a las series *Australimusa* y *Eumusa*. El árbol de plátano puede dar fruto (casi 20 frutas de plátano crecen en una mano (nivel) y 3-20 manos pueden crecer en un grupo) una vez en la vida, por lo que se generan muchos residuos de biomasa del árbol. Dentro de los mercados de fruta y residuos domésticos se producen cantidades grandes de desechos de banano.

Según Castro (2015) los residuos lignocelulósicos tienen un papel importante al momento de tratar aguas residuales, su actuación incluye el adsorber iones de los metales pesados y a la par de interferir en el avance de tecnologías limpias, eficaces y baratas. Es así como Kumar, Sharma y Singh (2017) afianzan esta idea señalando que la biomasa de los residuos agrícolas contiene celulosa, hemicelulosa, lignina, proteínas, aceites, ceras, almidón, con grupos funcionales activos como ácidos carboxílicos, carbonilo, éter, alcoholes y fenoles; la presencia de éstos grupos funcionales activos les permite tener aplicaciones más versátiles. Por ejemplo la celulosa, comúnmente usado para la elaboración de papel también se puede hacer uso directo o de forma modificada para la sorción de muchos iones de metales pesados del agua.

Ali (2017) muestra conformidad en que la cáscara de plátano contiene diversos grupos químicos tales como ácido carboxílico, fosfato y grupos hidroxilo que actúan como centros activos para adsorber iones metálicos a partir de medios acuosos y aguas residuales industriales. Estudios han constatado que las cáscaras de plátano son buena fuente de pectina, lignina, celulosa, hemicelulosas y ácido galactónico. Además la pectina que se extrae de este biosorbente posee glucosa, arabinosa, galactosa, ramosa y xilosa (Mohapatra, Mishra y Sutar, 2010).

Tabla 7.

Composición química de la cáscara de banano (Mohapatra, Mishra y Sutar, 2010).

Componentes	Contenido %
Pectina	10-21
Lignina	6-12
Celulosa	7.6-9.6
Hemicelulosa	9.4-9.4



Figura 8. Aplicaciones de los residuos de plátano (Ahmad y Danish, 2018).

2.9. Fluorescencia de Rayos X (FRX)

La fluorescencia de rayos X (FRX) es una técnica espectroscópica que utiliza la emisión secundaria o fluorescente de radiación X generada al excitar una muestra con una fuente de radiación X. La energía absorbida por los átomos de la muestra genera la

producción de rayos X secundarios, o de fluorescencia emitidos por la muestra (Neikov y Yefimov, 2009). Estos rayos X secundarios tienen una intensidad proporcional a la concentración de cada elemento de la muestra, por ello, al cuantificar esta radiación se determina la cantidad de cada elemento presente en la muestra. Ello se debe a que la radiación X incidente o primaria expulsa electrones de capas interiores del átomo. Los electrones de capas más externas ocupan los lugares vacantes, el exceso energético resultante de esta transición se disipa en forma de fotones, radiación X fluorescente o secundaria, con una longitud de onda característica que depende del gradiente energético entre los orbitales electrónicos implicados y, una intensidad directamente relacionada con la concentración del elemento en la muestra (Cheremisinoff, 1996). La FRX es la técnica empleada, normalmente, cuando se quiere conocer con rapidez la composición elemental exacta de una sustancia, pues permite determinar todos los elementos del sistema periódico, desde el flúor hasta el uranio, en muestras sólidas, en polvos y en líquidos (Martínez, Gil y Barón, 2006). El proceso de excitación y el espectro de rayos X resultante se ilustran para el calcio en la Figura 9.

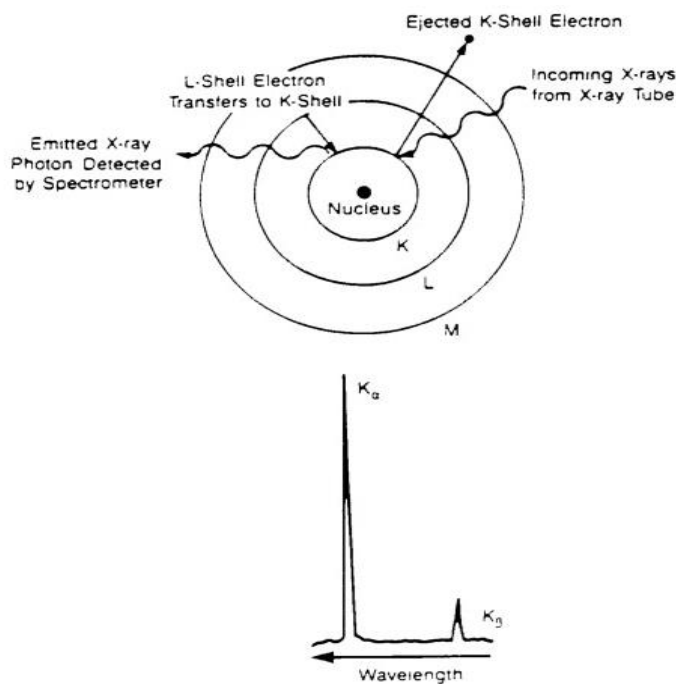


Figura 9. Ilustración del proceso de excitación XRF y el espectro resultante para el calcio.

2.9.1. Aplicaciones

Según la Integrating Research and Education (2019) La fluorescencia de rayos X se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo:

- Investigación en petrología ígnea, sedimentaria y metamórfica.
- Encuestas de suelo.
- Minería (por ejemplo, la medición del grado de mineral)
- Producción de cemento.
- Fabricación de cerámica y vidrio
- Metalurgia (por ejemplo, control de calidad).
- Estudios ambientales (por ejemplo, análisis de partículas en filtros de aire).
- Industria del petróleo (por ejemplo, contenido de azufre de los aceites crudos y productos derivados del petróleo).
- Análisis de campo en estudios geológicos y ambientales (utilizando espectrómetros XRF portátiles y portátiles).

La fluorescencia de rayos X es particularmente adecuada para investigaciones que involucran:

- Análisis químicos a granel de elementos principales (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P) en roca y sedimentos
- Análisis químicos a granel de elementos traza (en abundancia > 1 ppm; Ba, Ce, Co, Cr, Cu, Ga, La, Nb, Ni, Rb, Sc, Sr, Rh, U, V, Y, Zr, Zn) en Rocas y sedimentos: los límites de detección de elementos traza son generalmente del orden de unas pocas partes por millón.

La fluorescencia de rayos X se limita al análisis de:

- Muestras relativamente grandes, típicamente > 1 gramo

- Materiales que pueden prepararse en forma de polvo y homogeneizarse efectivamente.
- Materiales para los cuales están disponibles estándares de composición bien caracterizados, bien caracterizados.
- Materiales que contienen una gran cantidad de elementos para los cuales los efectos de absorción y fluorescencia se entienden razonablemente bien.

La zona de estudio (minera informal) está localizada en el distrito de Santa Rosa de Quives, provincia de Canta y departamento de Lima. Su longitud empieza en el límite con el distrito de Carabayllo, Km 38 y termina en el Km 82 de Canta. Presenta un área superficial de 364.4 km², con población de 5 855 hab. (al 2007), se encuentra a una altitud de 940 msnm y cuyas coordenadas UTM son: 18 L 8706484 Norte y 298688 Este.

Debido al temor de intervención y fiscalización por parte de la autoridad competente, los mineros artesanales no permitieron el acceso a la unidad minera para el respectivo muestreo de sus efluentes. De manera que solo se logró obtener sus relaves (sólidos), los mismos que resultan del proceso de extracción de minerales (oro, cobre, zinc). Se preparó la solución acuosa en el laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. El proceso de pruebas se llevó a cabo durante el periodo comprendido desde febrero-abril del 2019.

3.1.2. Análisis en el laboratorio

Se hizo uso de los laboratorios de Metalurgia de Materiales de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), así como el “Centro de Investigaciones Tecnológicas, Biomédicas y Medioambientales – CITBM” de la misma institución. Para los análisis fisicoquímicos se hizo uso de los ambientes de la Universidad Peruana Unión, UPeU (Av. Balagüer, Km.19.5 carretera central, Lima, Perú).

3.2. Material y métodos

3.2.1. Metodología

La metodología se ejecutó en 5 fases, las que se detallan a continuación:

FASE 1: Obtención y preparación de materiales orgánicos

a) Cáscara de coco

El coco verde (de variedad híbrido) cuyo polvo de la fibra se utilizó como material adsorbente, se obtuvo de los sembríos de la ciudad de Tarapoto, departamento de San Martín.

Posterior a ello se realizó las siguientes etapas de procesamiento de acuerdo a lo descrito y al flujograma presentado:

- Se retiró la corteza verde (exocarpo) y la parte rígida (endocardio). La parte fibrosa (mesocarpo) fue cortada en pequeños pedazos, se lavaron con agua destilada y estas cáscaras pasaron a la licuadora para ser trituradas. Después éstas se colocaron en la estufa con temperatura 70°C, por 24h o hasta lograr reducir la humedad en un 15 a 20%. En seguida las cáscaras se molieron en un molino de matillo, se pasó por un tamiz 60 (obteniendo un tamaño 0.250mm) según norma ASTM.

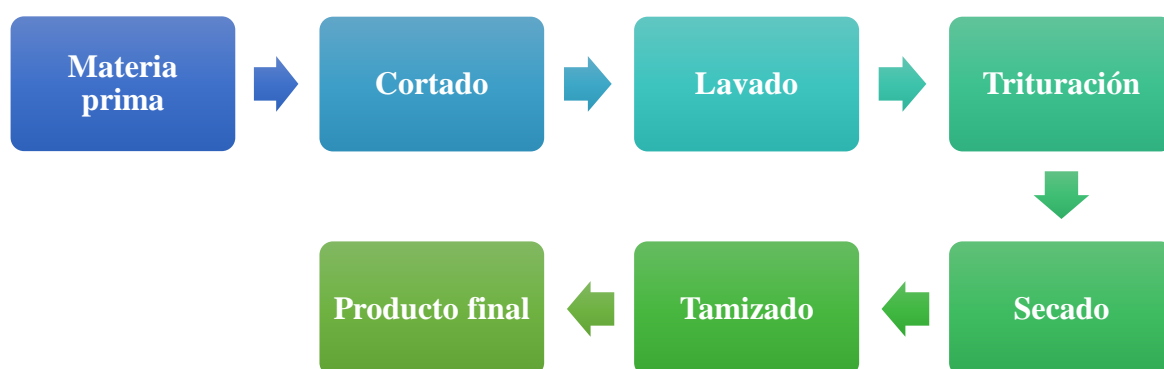


Figura 11. Proceso para la obtención de polvo de la cáscara de coco

b) Cáscara de banano

Se utilizaron 3 cajas de plátano orgánico (plátano de seda, cuyo nombre científico es *Musa Paradisiáca* de la familia Musáceas), que se obtuvo del mercado local de Ñaña.

- Las cáscaras de banano se sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) durante 7 min para eliminar algún tipo de impurezas que puedan afectar el proceso.
- Se cortaron las cáscaras en trozos liberándolas de tallos, restos del fruto y partes podridas.
- Las cáscaras troceadas se colocaron en una bandeja de aluminio y se llevaron a la estufa durante un periodo de 11 horas a una temperatura controlada entre 70°C a 90°C.

- d) Una vez secas, se molieron en un molino de martillo y se pasó por un tamiz 60 (obteniendo un tamaño 0.250mm) según norma ASTM

c) Cáscara de naranja

Las cáscaras de naranja se adquirieron de los residuos de las ventas ambulatorias de jugos de naranja del comercio local, cuya variedad fue la naranja blanca (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). Una vez obtenido el material en cantidades suficientes se procedió a realizar dos tratamientos que se describen a continuación:

Tratamiento 1

- **Reducción de tamaño y limpieza:** Las cáscaras de naranja se cortaron manualmente en fracciones pequeñas (3 a 5 cm aproximadamente), posterior a ellos se lavaron con abundante agua destilada a fin de eliminar impurezas y compuestos indeseables como suciedad, azúcares y elementos que puedan estar presentes en la cáscara.
- **Secado, trituración y cribado:** Teniendo limpias las cáscaras, se procedió a secar haciendo uso de un horno del laboratorio por 24 horas a 60 °C, para lograr reducir la cantidad de humedad. Las cáscaras secas fueron trituradas usando un molino de martillo, luego cribadas por un tamiz 60 (obteniendo un tamaño 0.250mm) según norma ASTM.

Tratamiento 2

- **Desmetoxilación:** Se utilizó una solución de Hidróxido de sodio (NaOH) 0.2 M en gramos de cáscara de naranja (300 gr biomasa por 500 ml solución), todo esto sometida bajo agitación constante por dos horas, y seguido de un tiempo de reposo. El proceso siguiente fue filtrar y pasar agua desionizada varios veces para eliminar excesos de NaOH y finalmente se secó en estufa, con temperatura 40°C por 2 horas.

- **Reticulación:** Se cogió 20 gramos de cáscara tratada en el paso anterior, a la que se le adicionaron 500 ml de Cloruro de Calcio (CaCl_2) 0.2 M. Mediante un agitador magnético se mantuvo esta mezcla en agitación constante a 200 rpm por 24 horas. En seguida, con la mezcla resultante de este paso se hizo lavados continuos con agua desionizada a fin de descartar excesos de calcio. Como penúltimos pasos se pasaron a filtrar y se sometió a un secado (60°C por 6 horas). Finalmente, el material obtenido pasó por un cribado de forma similar que el tratamiento 1.

FASE 2: Caracterizar y determinar los parámetros fisicoquímicos y metales pesados del efluente.

1. Preparación del efluente

Los relaves se obtuvieron de la minera artesanal de Santa Rosa de Quives y fueron preparadas en solución acuosa en el laboratorio de Metalurgia de la UNMSM de la siguiente manera:

- a) En el agitador múltiple, se mezcló 1kg de relave en 3L de agua a 200 RPM durante 1,5 horas.
- b) Se dejó reposar por 10 min y luego se procedió a filtrar (hasta obtener 40 Lt de solución).



Figura 12. Preparación del Efluente

2. Determinación de los parámetros

Mediante análisis en laboratorio por FRX se determinó la cantidad de metales presentes en ésta fase, los que sirvieron de base para analizar el porcentaje de remoción después del tratamiento.

-Parámetros físicos

Se realizó además la medición de los parámetros físicoquímicos (pH, sólidos totales en suspensión, temperatura), éstos fueron analizados en el laboratorio de ingeniería ambiental de la facultad de Ingeniería y Arquitectura-UPeU y consistió en:

- a) Para los sólidos totales en suspensión y la temperatura: En una muestra de 100 ml y con el equipo Multiparámetro HANNA se tomaron los valores.
- b) pH: Mediante el equipo pH metro HANNA se midió este parámetro.

- Metales pesados por Fluorescencia de Rayos X

Se utilizó los equipos del laboratorio de CITBM (Centro de Investigación Tecnológica, Biomédica y Medioambiental) de la facultad de Ciencias Físicas de la UNMSM.

Consideraciones experimentales:

Condiciones de la medición:

*El análisis se realizó en un Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X por reflexión total marca **BRUKER**, modelo **S2-PICOFOX**.*

Fuente de rayos X: Tubo de Mo.

Tiempo de medida: 2000 segundos.

Estándar internacional para cuantificación:

Elemento: Galio (Ga)

Concentración: 1g/l.

Características de la muestra analizada:

Para esta caracterización se utilizó 2.5 ml de muestra líquida. Además se realizó por triplicado.

FASE 3: Diseñar un sistema de tratamiento compuesto por un filtro adsorbente con cáscaras orgánicas.

El diseño se basó tomando algunas consideraciones en el trabajo de investigación de (Sánchez , 2014) cuyo título es “Propuesta de elaboración y comercialización de filtros adsorbentes para aguas contaminadas a partir de la cáscara de la mazorca de cacao como adsorbente en la ciudad de Guayaquil” y (Agbozu & Emoruwa, 2014) , lo restante forma parte de los investigadores.

El diseño consta de una cabina de melamine movable. En la parte superior cuenta con 6 orificios de 19 cm de diámetro (3 por cada lado), en la parte media tiene 6 abrazaderas de metal regulables. El proceso de tratamiento está basado en el siguiente procedimiento, cuyo diseño del filtro adsorbente se detalla.

Filtro adsorbente

- 1°. En cada orificio de la parte superior se colocó baldes de 4 lt. con la solución a tratar (3lt.) Cada uno consta de un equipo de infusión desechable que regula el caudal de entrada y alimenta al filtro.

- 2°. Se colocó 6 probetas de plástico de 1000 ml en forma vertical, ajustadas en las abrazaderas de la cabina, con una manguera en la parte inferior para extraer las muestras del efluente ya tratado. Terminados los primeros seis tratamientos, se procedió a realizar los cuatro restantes.
- 3°. Se puso una capa de grava seguido de los bioadsorbentes (Coco, naranja y plátano) en capas y en las cantidades determinadas en el diseño experimental y finalmente una capa de grava más. Se obtuvieron 10 filtros en total.

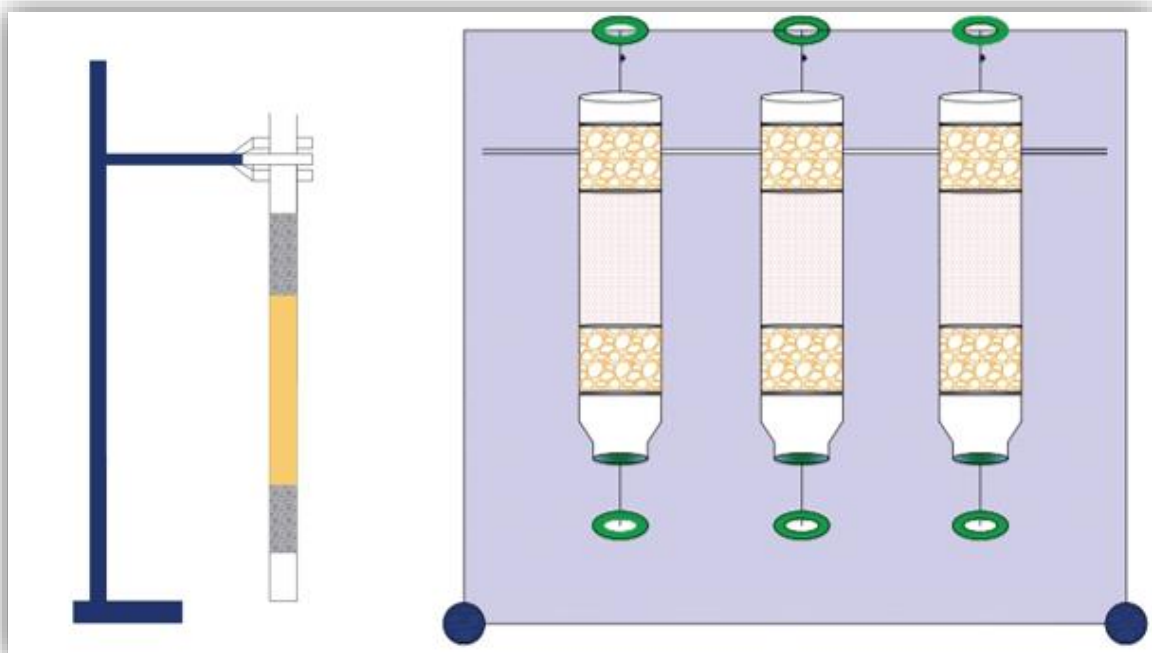


Figura 13. Esquema del sistema de tratamiento-Filtro bioadsorbente.



Figura 14. Sistema de tratamiento – Filtro bioadsorbente.

Toma de muestra

Se pusieron en contacto el bioadsorbente y la disolución problema haciéndose pasar por el filtro de columna en un tiempo de 3 horas a temperatura ambiente de 22°C, pH de la solución de 7 a un tamaño de partícula de 0.225 mm establecido previamente (tamiz N° 60 según la ASTM), una densidad de empaque en peso de 100 gr y altura variable por las diferentes densidades del bioadsorbente utilizado.

Después de la puesta en marcha del filtro y el periodo respectivo de cada corrida, se tomó la muestra con una pipeta de 10 ml en un muestreador de 5 ml (ver anexo 31 y 32), fue etiquetado y trasladado al laboratorio de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Laboratorio CITBM), para el análisis mediante FRX. El tiempo que duró realizar los tratamientos y muestreo fue de cinco días.

Factores considerados:

Los factores principales que se consideraron para el proceso de bioadsorción, se mencionan en la tabla siguiente:

Tabla 8.

Factores principales que intervienen en la biosorción

Propiedades de los biosorbentes	Tamaño de la partícula: 0.250 mm
Propiedades de la disolución	pH de la disolución: 7.3
Operación	Tiempo de contacto: 3 hr
	Temperatura: 26.5°C

FASE 4: Determinar los parámetros óptimos en la remoción de metales pesados

aplicando diseño de experimentos de superficie de respuesta.

Para el tratamiento y optimización de los datos, se utilizó el software estadístico Statistica versión 13.1.

FASE 5: Determinar el porcentaje de remoción de las propiedades fisicoquímicas y metales pesados del tratamiento óptimo del efluente minero.

Una vez construido el sistema, se realizó pruebas exploratorias (prueba hidráulica de resistencia), de comprobación y de contraste. Con el filtro listo [1]: se realizó diez pruebas a distintas cantidades, con 100 gr. inicial de biosorbente.

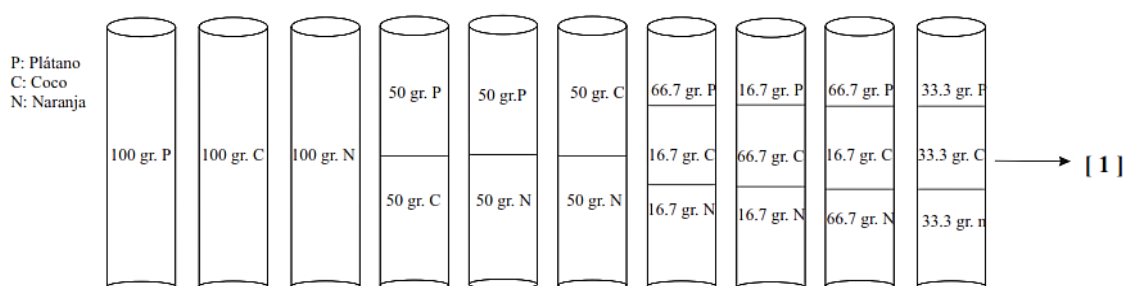


Figura 15. Esquema de pruebas

Posterior a la puesta en marcha se evaluó el porcentaje de metales pesados removidos, esta evaluación se alcanzó mediante el monitoreo del efluente caracterizado inicial (agua contaminada antes de ingresar al sistema) y a la salida Filtro Bioadsorbente.

Después de monitorear y llevar a laboratorio las muestras, se recopiló los resultados, se analizó y evaluó la eficiencia de remoción, y finalmente, se comparó con el Decreto Supremo 010-2010-MINAM que establece los LMP para la descarga de efluentes líquidos proveniente de actividades Minero-Metalúrgicas.

3.2.2. Materiales, reactivos y equipos

Tabla 9.

Materiales, equipos y reactivos utilizados en la preparación de las materias primas.

	Materiales y/o equipos	Unidades	Cantidad
Materiales	Cáscara de Plátano	Caja	3
	Cáscara de Naranja	kg	20
	Cáscara de coco	kg	30
	Tamiz No. 60	Unidad	1
	Contenedores para adsorbentes	Unidades	21
	Agua destilada	Bidones	2
	Cuchillo	Unidades	2
	Licuadaora	Unidad	1
	Estufa	Unidad	1
	Molino de martillo	Unidad	1
Equipos	Molino manual	Unidad	1
	Agitador magnético	Unidad	1
	Balanza analítica	Unidad	1
	Hipoclorito de sodio (NaClO)	ml	1000
Reactivos	Hidróxido de sodio (NaOH)	ml	1000
	Cloruro de calcio (CaCl)	ml	1000

Tabla 10.

Materiales utilizados en la preparación de la solución a tratar.

Materiales, equipos e insumos	Unidades	Cantidad
Agua	Litros	1
Relave en sólido	Kg	10

Materiales, equipos e insumos	Guantes quirúrgicos	Paquete	100
	Mascarilla	Paquete	100
	Gorra	Paquete	100
	Guardapolvo	Unidades	10
	Balanza	Unidades	10
	Envases de plástico 1L	Unidades	4
	Balde de plástico 20L	Unidades	2
	Prueba de jarras	Unidades	1
	Equipo de filtración	Unidades	1
	Papel filtro	Unidades	8
	Jarra de plástico 2L	Unidad	1

Tabla 11.
Materiales empleados en la construcción del filtro bioadsorbente

	Materiales y/o equipos	Unidades	Cantidad
Materiales	Cabina de melamine	Unidad	1
	Baldes 4lt	Unidad	10
	Manguera	Unidades	5
	Recipientes para muestras	Unidades	20
	Botellas descartables 600 ml	Unidades	20
	Probetas de plástico de 1000 ml	Unidades	6
	Equipos de infusión desechable	Unidades	10

Tabla 12.
Materiales y equipos utilizados en el análisis pre-post

	Materiales y/o equipos	Unidades	Cantidad
Materiales	Guantes quirúrgicos	unidad	5
	Mascarilla quirúrgica	unidad	5
	Bata	Unidad	5
	Vasos precipitado	Unidad	1
	Pipetas de 10 ml	Unidades	3
	Cryoviales	Unidades	50
	Muestreadores de plástico 5ml	Unidades	100
	Cronómetro	Unidad	6
Equipos	Multiparámetro	Unidad	1
	Turbidímetro	Unidad	1
	pH metro	Unidad	1

3.2.3. Parámetros de muestreo

Los parámetros físico-químicos que se analizaron se detallan a continuación y fueron comparados con el Decreto Supremo 010-2010-MINAM que establece los LMP para la descarga de efluentes líquidos proveniente de actividades Minero-Metalúrgicas.

Tabla 13.
Parámetros según el decreto D.S.010-2010-MINAM

	Parámetro	Símbolo	Unidad	D.S N° 010-2010-MINAM
Químicos	Zinc	Zn	mg/L	1.5
	Arsénico	As	mg/L	0.1
	Cadmio	Cd	mg/L	0.05
	Mercurio	Hg	mg/L	0.002
	Cobre	Cu	mg/L	0.5
	Hierro	Fe	MG/L	2
	Plomo	Pb	mg/L	0.2
	Potencial de hidrógeno	pH	pH	6-9
Físicos	Sólidos totales en suspensión	SST	mg/L	50
	Conductividad		uS/cm	-
	Temperatura		°C	-
	Turbidez	-	UNT	-

3.3. Variables de Estudio

3.3.1. Variables Independientes

- Cantidad de Fibra de Plátano (gr)
- Cantidad de Fibra de Coco (gr)
- Cantidad de Fibra de Naranja (gr)

3.3.2. Variables Dependientes

La concentración de metales Cu, Fe y Pb (ppm).

3.4. Estudio y diseño de la investigación

El presente trabajo es de tipo experimental porque relaciona la eficiencia de las variables dependientes (concentración de metales Cu, Fe y Pb en ppm), en la presencia de

efluentes mineros-metalúrgicos, sobre las variables independientes (Cantidad de Fibra de Plátano, coco y naranja en gr).

3.5. Formulación de hipótesis

H₀= El Filtro Adsorbente con materiales orgánicos (cáscara de coco, banano y naranja) resultará eficiente en la remoción del Cu, Fe y Pb presentes en los efluentes mineros artesanales.

H_a= El Filtro Adsorbente con materiales orgánicos (cáscara de coco, banano y naranja) no resultará eficiente en la remoción del Cu, Fe y Pb presentes en los efluentes mineros artesanales.

3.6. Diseño de experimentos

3.3.1. Diseño estadístico

Se utilizó el Diseño de mezclas Simplex Lattice que corresponde a un diseño de experimentos (DOE) de mezclas de la metodología de superficie respuesta triangular, que consistió en 10 tratamientos. El diseño corresponde a un triángulo que representa todo el universo de posibilidades de mezcla en proporción en donde los puntos experimentales están uniformemente distribuidos en el triángulo que permitirá además, agregar puntos en el interior del espacio de diseño, lo cual ayudará a detectar la presencia de curvaturas en el interior (Venkateswara y Baral, 2011).

Los efectos de los factores cuantitativos (Variables independientes X_1 , X_2 y X_3) serán simbolizados con efectos polinomiales, con un solo grado de libertad. Luego se generó el grafico de superficie de respuesta triangular conforme muestra la Figura 16 (Montgomery, 2004).

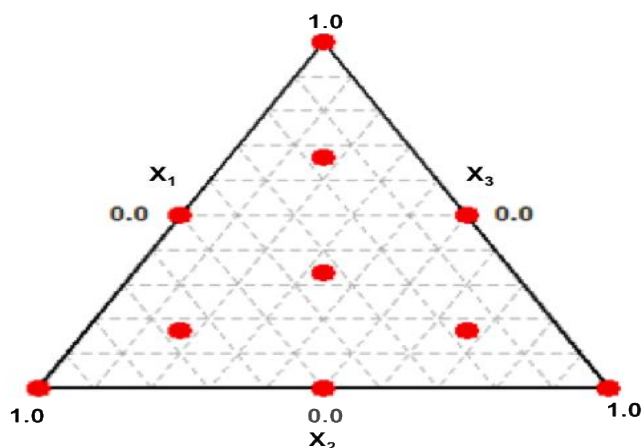


Figura 16. Diseño de mezclas Simplex Lattice a diferentes concentraciones de cáscaras (X1: Plátano, X2: Coco y X3: Naranja)

Las variables independientes codificadas y no codificadas, y las variables dependientes son mostradas en la Tabla 14 de acuerdo a la matriz generada por el Diseño de mezclas Simplex Lattice.

Tabla 14.

Diseño de experimentos de mezclas Simplex Lattice para variables independientes codificadas y no codificadas, y variables dependientes para la remoción de los metales pesados

Trat.	Variables independientes						Variables dependientes (Metales pesados)		
	Codificados			No codificados					
	X_1	X_2	X_3	Fibra de Plátano (%)	Fibra de Coco (%)	Fibra de Naranja (%)	Cobre (ppm)	Hierro (ppm)	Plomo (ppm)
1	1,000	0,000	0,000	100,0	0,0	0,0	-	-	-
2	0,000	1,000	0,000	0,0	100,0	0,0	-	-	-
3	0,000	0,000	1,000	0,0	0,0	100,0	-	-	-
4	0,500	0,500	0,000	50,0	50,0	0,0	-	-	-
5	0,500	0,000	0,500	50,0	0,0	50,0	-	-	-
6	0,000	0,500	0,500	0,0	50	50,0	-	-	-
7	0,667	0,167	0,167	66,7	16,7	16,7	-	-	-
8	0,167	0,667	0,167	16,7	66,7	16,7	-	-	-
9	0,167	0,167	0,667	16,7	16,7	66,7	-	-	-
10	0,333	0,333	0,333	33,3	33,3	33,3	-	-	-

Las variables codificadas se utilizarán para simplificar el diseño y el ajuste del modelo y reducir la correlación entre los límites de los componentes en los diseños restringidos (Minitab, 2007).

Las variables dependientes (Metales pesados: Mercurio, Plomo y Cadmio) podrá ajustarse a cuatro tipos de modelos: lineal, cuadrático y cúbico especial conforme es mostrado en las ecuaciones siguientes (Montgomery, 2004):

$$\text{Lineal: } Y = \sum_{i=1}^q \beta_i X_i$$

$$\text{Cuadrático: } Y = \sum_{i=1}^q \beta_i X_i + \sum_{1 \leq i < j}^q \beta_{ij} X_i X_j$$

$$\text{Cúbico especial: } Y = \sum_{i=1}^q \beta_i X_i + \sum_{1 \leq i < j}^q \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{1 \leq i < j < k}^q \beta_{ijk} X_i X_j X_k$$

$$\text{Cúbico completo: } Y = \sum_{i=1}^q \beta_i X_i + \sum_{1 \leq i < j}^q \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{1 \leq i < j}^q \beta_{ij} X_i X_j (X_i - X_j) + \sum_{1 \leq i < j < k}^q \beta_{ijk} X_i X_j X_k$$

Donde:

q : Número total de componentes en el diseño de mezcla.

Y : Valor de la respuesta esperada (Variable dependiente)

β_{ij} : Coeficiente a ser estimados.

X_i : Niveles de las variables.

3.3.2. Análisis estadístico

El análisis estadístico se evaluó para la optimización de la remoción de los metales pesados (Cu, Fe y Pb), que consistió en determinar los coeficientes de correlación para los modelos lineal, cuadrático y cubico respectivamente, como también se determinó el análisis de varianza (ANOVA a $p < 0.05$) para cada uno de los modelos que sirvió para determinar el modelo más significativo generado y con mejor ajuste (R^2) en el cual se construyeron las superficies de respuesta correspondientes para cada variable dependiente. Para el tratamiento de los datos, se utilizó el software estadístico *Statistica* versión 13.1.

3.6.1. Flujo y diseño experimento

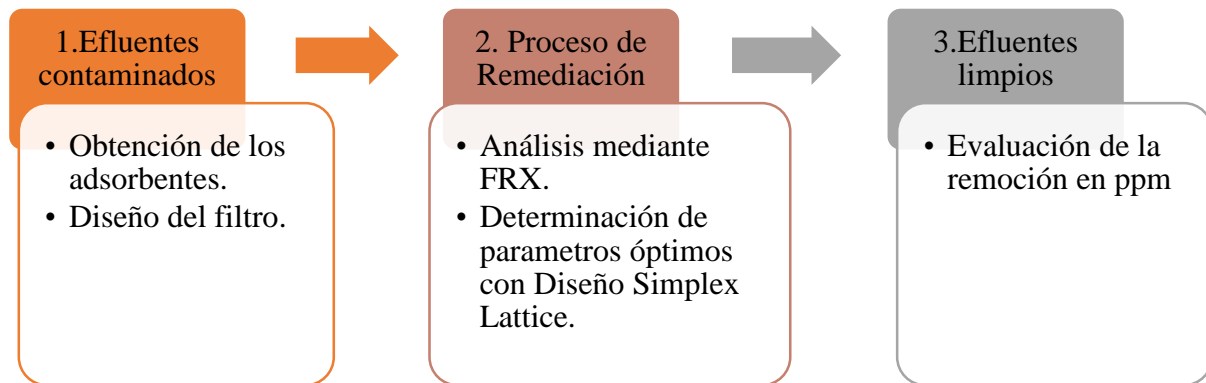


Figura 17. Proceso de tratamiento

CAPÍTULO IV:

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Resultados

4.1. Caracterización de parámetros físicos y metales pesados del efluente

a) Parámetros físicos

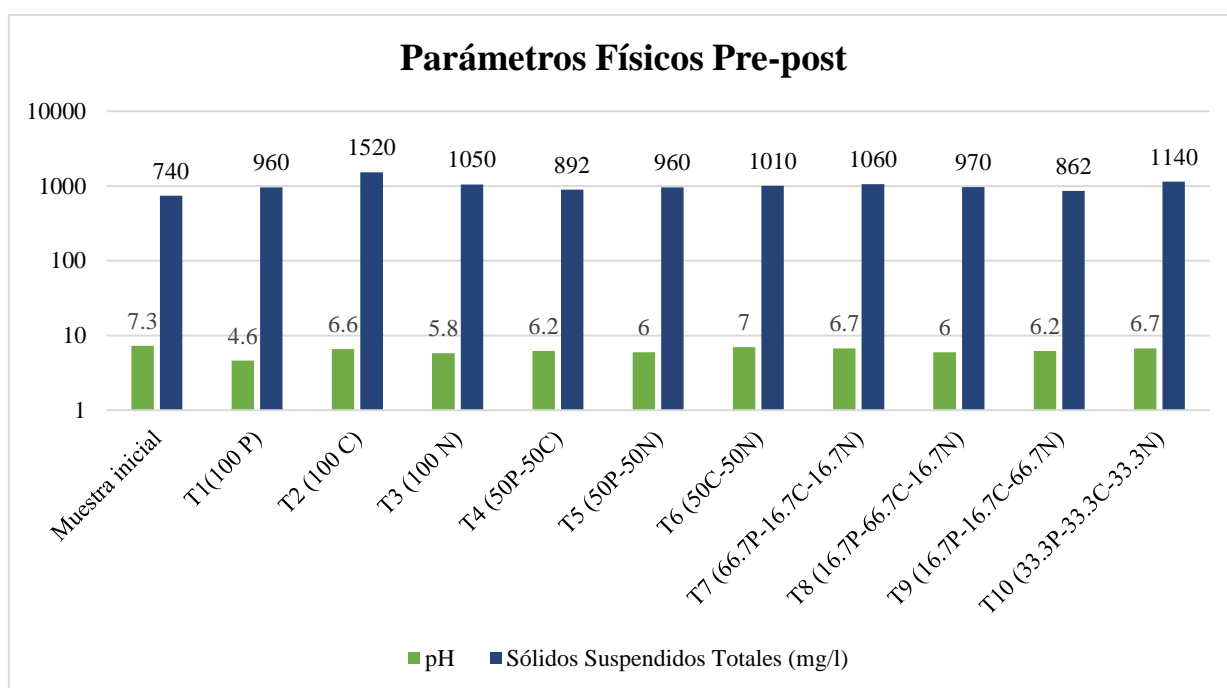


Figura 18. Resultados de laboratorio pre-post

En la figura 18 observamos los resultados del análisis físico de los parámetros de pH y sólidos suspendidos totales realizado al efluente (Muestra inicial) y a la resultante después de pasar por los tratamientos (T1, T2, T3, ...T10) con sus respectivas cantidades de biosorbentes (P: Plátano, C: coco y N: naranja). Se eligió solo estos parámetros porque la norma lo establece y la literatura revisada muestra que los procesos de bioadsorción están fuertemente asociados al pH, los sólidos Suspendidos totales también estén en los LMP y es clave en los procesos porque nos permite determinar si va ser necesario incluir un tratamiento secundario.

En la muestra inicial se obtuvo 7.3 de pH y 740 mg/l de sólidos suspendidos (SST). En cuanto a los resultados post en todos los tratamientos, el pH, osciló entre 5-7, el valor más bajo se observó en el filtro uno; respecto a los SST, los valores estuvieron desde el menor 862 mg/l hasta un máximo de 1520 mg/l, éste último corresponde al filtro 2.

b) Metales pesados

En las tablas siguientes se presenta los resultados del análisis de metales pesados antes y después del tratamiento mediante la técnica de Fluorescencia de Rayos X.

Tabla 15.
Resultados de metales pesados por FRX –Pre tratamiento

Elemento	Análisis Pre-tratamiento			
	Mi -01-A	Mi -01-B	Mi-01-C	Prom.
	Conc. (mg/l)			
Cloro (Cl)	166.957	125.310	104.459	132.242
Potasio (K)	16.801	12.600	12.206	13.869
Calcio (Ca)	399.247	282.580	249.373	310.400
Manganeso (Mn)	939.070	728.700	0.434	556.068
Cobre (Cu)	0.056	0.048	0.061	0.055
Hierro (Fe)	1.340	1.377	1.360	1.359
Plomo (Pb)	0.202	0.222	0.366	0.263
Zinc (Zn)	0.600	0.706	0.144	0.483
Bromo (Br)	0.272	0.210	0.233	0.238
Estroncio (Sr)	1.234	0.905	0.828	0.989

En la tabla 15 se presenta los resultados de laboratorio en cuanto a los metales pesados encontrados en la muestra patrón (ver anexo 46). Sin embargo para efectos de la investigación, se resalta al Cu, Fe y Pb como metales en estudio. Según investigaciones de bioadsorción realizadas, estos metales tienen una mayor afinidad con los materiales bioadsorbentes de ésta investigación (plátano, coco y naranja) por ello se eligió tomarlos como las variables dependientes.

Tabla 16.
Resultados de metales pesados por FRX – Post tratamiento

Resultados del análisis post tratamiento de los metales en estudio (mg/l)										
	T1-A	T2-A	T3-A	T4-A	T5-A	T6-A	T7-A	T8-A	T9-A	T10-A
Cobre (Cu)	0.010	0.001	0.005	0.012	0.012	0.005	0.015	0.010	0.018	0.020
Hierro (Fe)	0.131	0.111	0.144	0.161	0.312	0.106	0.295	0.182	0.350	0.425
Plomo (Pb)	0.019	0.013	0.007	0.006	0.010	0.005	0.020	0.013	0.016	0.015
	T1-B	T2-B	T3-B	T4-B	T5-B	T6-B	T7-B	T8-B	T9-B	T10-B
Cobre (Cu)	0.007	0.002	0.004	0.010	0.015	0.004	0.013	0.014	0.023	0.018
Hierro (Fe)	0.150	0.121	0.145	0.152	0.298	0.115	0.306	0.170	0.362	0.420
Plomo (Pb)	0.015	0.012	0.005	0.010	0.008	0.008	0.022	0.011	0.014	0.019
	T1-C	T2-C	T3-C	T4-C	T5-C	T6-C	T7-C	T8-C	T9-C	T10-C
Cobre (Cu)	0.008	0.003	0.003	0.009	0.011	0.003	0.015	0.013	0.02	0.015
Hierro (Fe)	0.120	0.112	0.154	0.145	0.282	0.102	0.261	0.162	0.328	0.430
Plomo (Pb)	0.021	0.015	0.008	0.007	0.015	0.007	0.028	0.012	0.015	0.016
	T1-prom.	T2-prom.	T3-prom.	T4-prom.	T5-prom.	T6-prom.	T7-prom.	T8-prom.	T9-prom.	T10-prom.
Cobre (Cu)	0.008	0.002	0.004	0.010	0.013	0.004	0.014	0.012	0.020	0.018
Hierro (Fe)	0.134	0.115	0.148	0.153	0.297	0.108	0.287	0.171	0.347	0.425
Plomo (Pb)	0.018	0.013	0.007	0.008	0.011	0.007	0.023	0.012	0.015	0.017

En la tabla 16 se muestra los valores después del tratamiento con los bioadsorbentes (Ver anexo 47). Se realizó diez tratamientos (T1, T2, T3..., T10) con tres réplicas (A, B y C), obteniendo un promedio de éstos (T1-prom., T2-prom., T3-prom.,...T10-prom.) por cada metal.

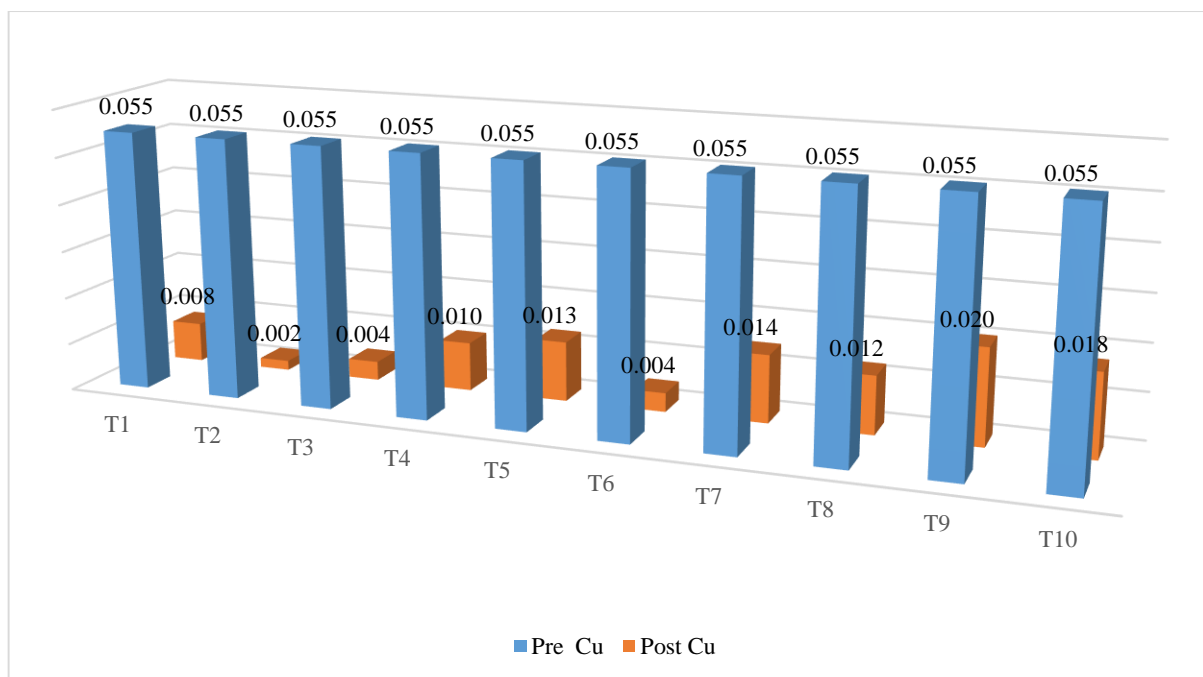


Figura 19. Resultados pre y post para el Cobre

En la figura 19 se puede apreciar que después del tratamiento, los valores del cobre se redujeron, de un 0.055 inicial a un 0.008, 0.002, 0.004, 0.010, 0.013, 0.004, 0.014, 0.012, 0.020 y 0.018 mg/l final para los tratamientos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10, respectivamente.

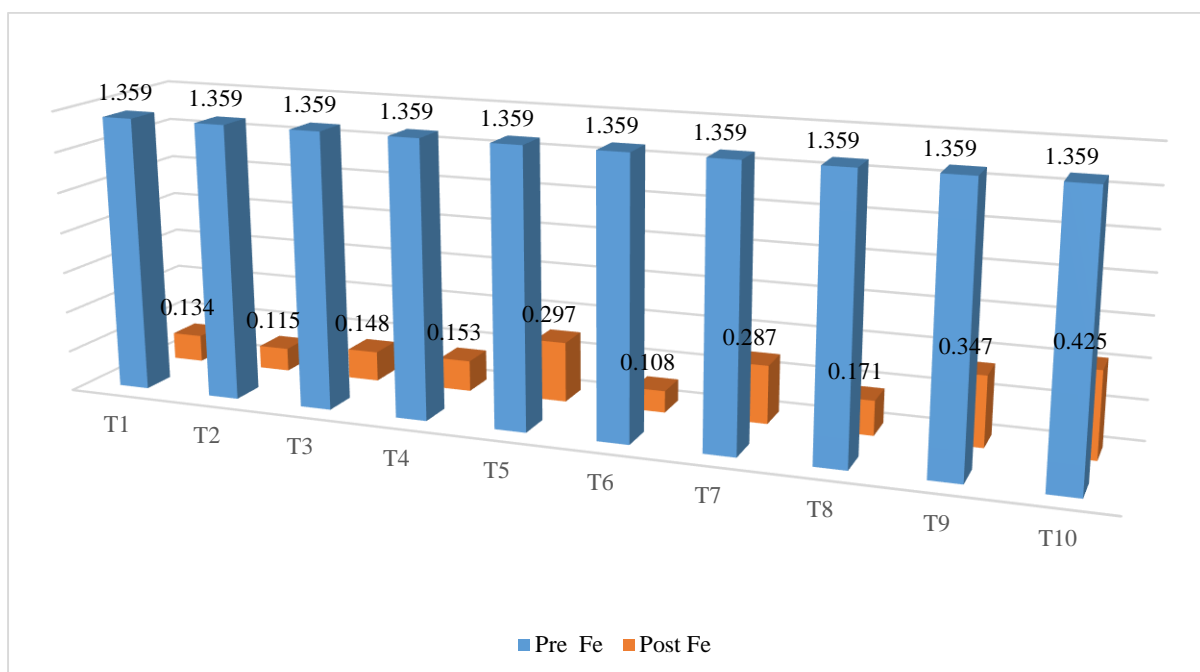


Figura 20. Resultados pre y post para el Hierro

En lo que respecta al hierro, la gráfica ejemplifica la reducción de éste parámetro respecto al inicial (1.359 mg/l). Encontramos valores por debajo del límite para minería, es el caso del tratamiento 6, con 0.108 mg/l de Fe, seguido del tratamiento 2, cuyo valor también es bastante bajo (0.115 mg/l).

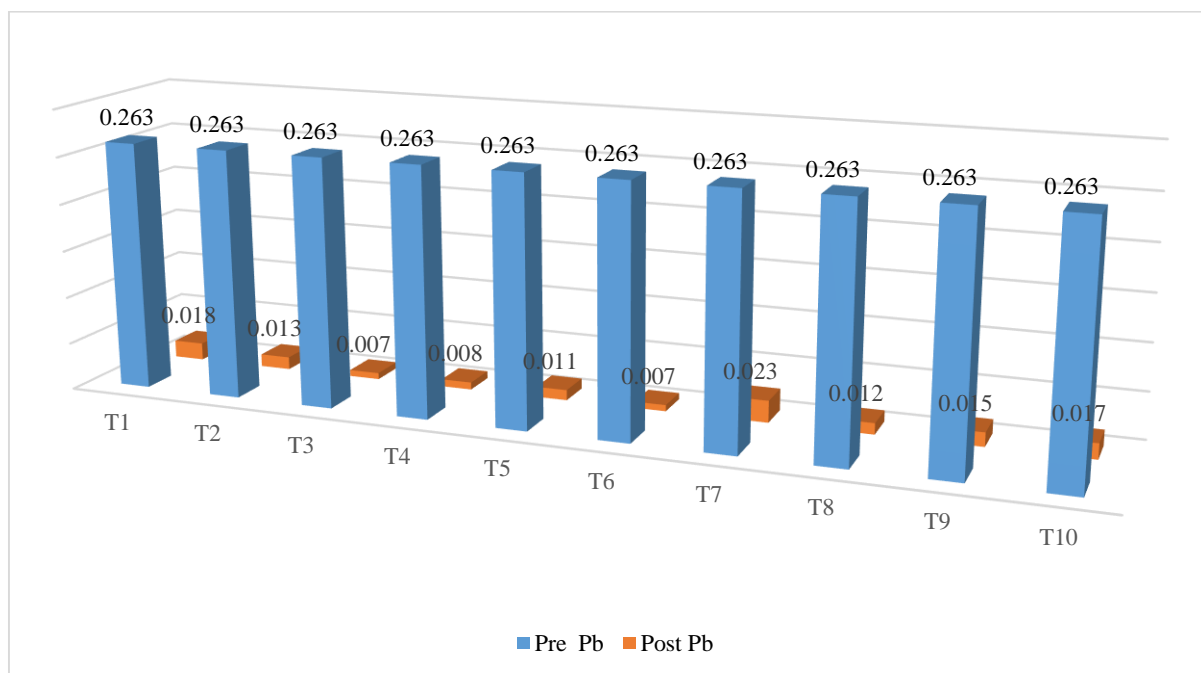


Figura 21. Resultados pre y post para el Plomo

Con el Plomo, la disminución del metal fue bastante relevante, ya que se tenía un inicial de 0.263 mg/l que estaba al límite de la norma minero-metalúrgica. Después del tratamiento éstos valores llegaron a reducirse en un rango de 0.007-0.023 mg/l.

4.2. Estadística con Diseño Simplex Lattice

Tabla 17.
Resultados con Diseño Simplex Lattice

Trat.	Variables independientes						Variables dependientes			
	Codificados			No codificados			(Metales pesados)			
	X_1	X_2	X_3	Fibra de Plátano (%)	Fibra de Coco (%)	Fibra de Naranja (%)	Cobre (ppm)	Hierro (ppm)	Plomo (ppm)	
1	1,000	0,000	0,000	100,0	0,0	0,0	0.008 ±0.0015	0.134 ±0.0151	0.018 ±0.0031	
2	0,000	1,000	0,000	0,0	100,0	0,0	0.002 ±0.0010	0.115 ±0.0055	0.013 ±0.0015	
3	0,000	0,000	1,000	0,0	0,0	100,0	0.004 ±0.0010	0.148 ±0.0055	0.007 ±0.0015	
4	0,500	0,500	0,000	50,0	50,0	0,0	0.010 ±0.0015	0.153 ±0.0080	0.008 ±0.0021	

5	0,500	0,000	0,500	50,0	0,0	50,0	0.013	±0.0021	0.297	±0.0150	0.011	±0.0036
6	0,000	0,500	0,500	0,0	50	50,0	0.004	±0.0010	0.108	±0.0067	0.007	±0.0015
7	0,667	0,167	0,167	66,7	16,7	16,7	0.014	±0.0012	0.287	±0.0235	0.023	±0.0042
8	0,167	0,667	0,167	16,7	66,7	16,7	0.012	±0.0021	0.171	±0.0101	0.012	±0.0010
9	0,167	0,167	0,667	16,7	16,7	66,7	0.020	±0.0025	0.347	±0.0172	0.015	±0.0010
10	0,333	0,333	0,333	33,3	33,3	33,3	0.018	±0.0025	0.425	±0.0050	0.017	±0.0021

En la tabla 17 se observa que el tratamiento dos con cáscaras de coco tuvo mayor remoción del cobre; para el hierro el mejor tratamiento fue con la mezcla de las cáscaras de naranja y coco, y con coco únicamente; y para el plomo se vio que la fibra de naranja tuvo mayor influencia de remoción, seguido de la mezcla de naranja y coco.

4.2.1. Análisis de la varianza (ANOVA)

En las tablas 18, 19 y 20 se presenta el análisis de varianza realizado para las variables cobre, hierro y plomo. Se utilizaron los modelos de regresión de la remoción general de tipo lineal, cuadrático y cúbico especial, sin embargo se tomó el modelo cúbico especial, porque tiene efecto más significativo.

Tabla 18.
ANOVA para el variable Cobre.

Model	SS Effect	df Effect	MS Effect	SS Error	Df Error	MS Error	F	P	R-Sqr	R-Sqr Adjusted
Lineal	0.000138	2	0.000069	0.000919	27	0.000034	2.03490	0.150259	0.130989	0.066618
Cuadratic	0.000523	3	0.000174	0.000396	24	0.000016	10.57281	0.000128	0.625685	0.547702
Special Cubic	0.000174	1	0.000174	0.000222	23	0.000010	18.02699	0.000305	0.790156	0.735415

En la tabla 18, el análisis de varianza (variable cobre) de los modelos de regresión de la remoción general de tipo lineal, cuadrático y cúbico especial, arrojó valores P de 0.150259, 0.000128, 0.000305, respectivamente. El coeficiente de determinación R^2 de 0.130989, 0.625685 y 0.790156, respectivamente. Se puede notar que el modelo cúbico especial tiene el mejor valor de R^2 y además tiene efecto estadístico significativo ($p < 0,05$), por lo que se eligió este modelo.

Tabla 19.
ANOVA para la variable Hierro.

Model	SS Effect	df Effect	MS Effect	SS Error	Df Error	MS Error	F	P	R-Sqr	R-Sqr Adjusted
Lineal	0.044823	2	0.022411	0.293935	27	0.010886	2.05863	0.147195	0.132314	0.068041
Cuadratic	0.181217	3	0.060406	0.112718	24	0.004697	12.86156	0.000033	0.667260	0.597939
Special Cubic	0.089015	1	0.089015	0.023703	23	0.001031	86.37475	0.000000	0.930029	0.911776

Para el hierro, en la tabla 19 el análisis de varianza de los modelos de regresión de la remoción general de tipo lineal, cuadrático y cúbico especial, arrojó valores P de 0.147195, 0.000033, 0.000000 y coeficiente de determinación R^2 de 0.132314, 0.667260 y 0.930029, respectivamente. Se eligió el modelo cúbico especial ya que el valor de R^2 se acerca a 1, además tiene efecto estadístico significativo ($p < 0,05$).

Tabla 20.
ANOVA para la variable Plomo.

Model	SS Effect	df Effect	MS Effect	SS Error	Df Error	MS Error	F	P	R-Sqr	R-Sqr Adjusted
Lineal	0.000296	2	0.000148	0.000618	27	0.000023	6.46143	0.005092	0.323696	0.273599
Cuadratic	0.000070	3	0.000023	0.000548	24	0.000023	1.01995	0.401233	0.400171	0.275206
Special Cubic	0.000292	1	0.000292	0.000256	23	0.000011	26.24835	0.000034	0.719867	0.646789

La tabla 20, presenta el análisis de varianza (variable plomo) de los modelos de regresión de la remoción general de tipo lineal, cuadrático y cúbico especial, arrojó valores P de 0.005092, 0.401233, 0.000034, respectivamente. El coeficiente de determinación R^2 de 0.323696, 0.400171 y 0.719867, respectivamente. Se puede notar que el modelo cúbico especial tiene el mejor valor de R^2 , ya que es el que más se acerca a 1, además tiene efecto estadístico significativo ($p < 0,05$). Se eligió el modelo cúbico especial porque se ajusta más a los datos y es más significativo.

4.2.2. Análisis por el Diagrama de Pareto

A continuación se presenta el análisis mediante el diagrama de Pareto. En la gráfica de barras los valores graficados están organizados de mayor a menor, donde los valores más altos indican mayor concentración del metal, en este caso nos interesa los valores más bajos porque representa qué tratamiento intervino en la mayor cantidad de eliminación de los metales (cobre, hierro y plomo).

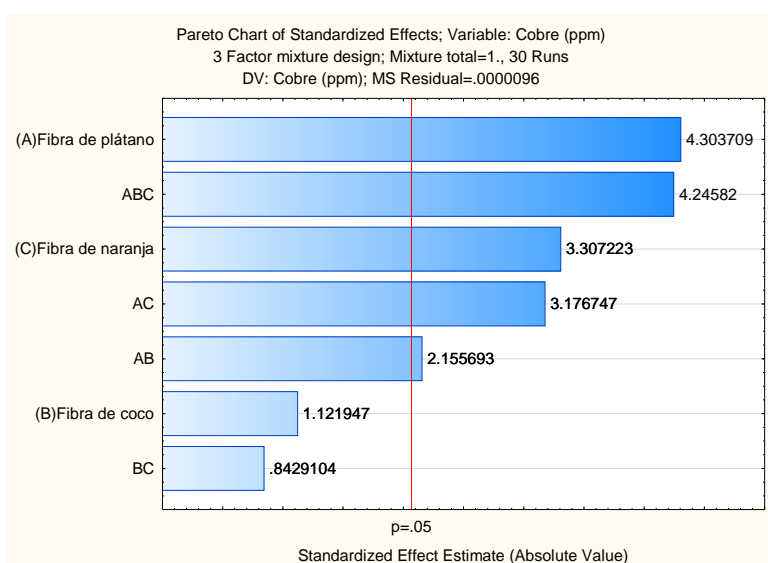


Figura 22. Diagrama de Pareto para la variable cobre.

En la figura 22 observamos que la mayor cantidad de cobre está representada con la mayor cantidad de cáscara de plátano; quiere decir que mientras menos cáscara de plátano, menos valores de Cu; dicho de otro modo, el plátano no intervino significativamente en la disminución de la cantidad del Cu. También se observa que el mejor tratamiento fue con cáscaras de plátano-coco y plátano-naranja.

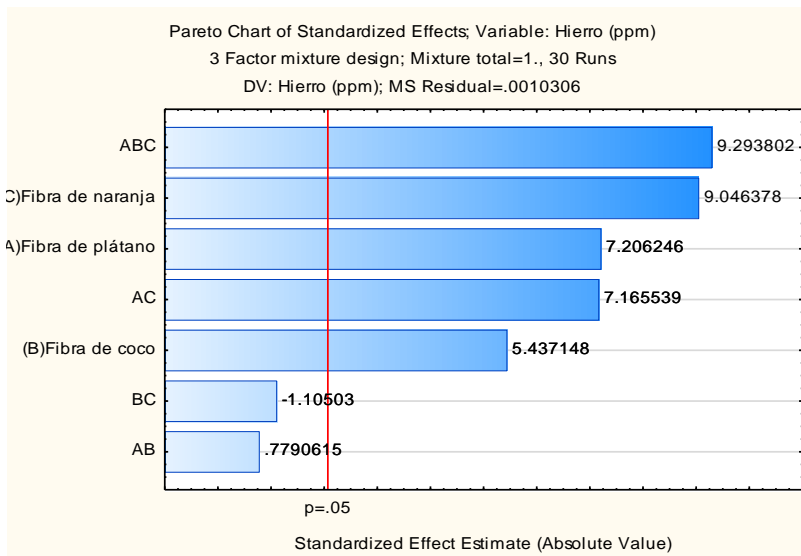


Figura 23. Diagrama de Pareto para la variable hierro.

En la figura 23 se observa que la mezcla de los tres (ABC) y (C) no tuvieron un efecto significativo en la remoción ya que, la gráfica representa que mientras más de estas cáscaras están presentes en el tratamiento, habrá mayor cantidad de hierro. Por otro lado, se puede apreciar que el tratamiento con coco (B) y plátano-naranja (AC) tiene el efecto más significativo sobre el proceso de bioadsorción del hierro, ya que presentan valores más pequeños.

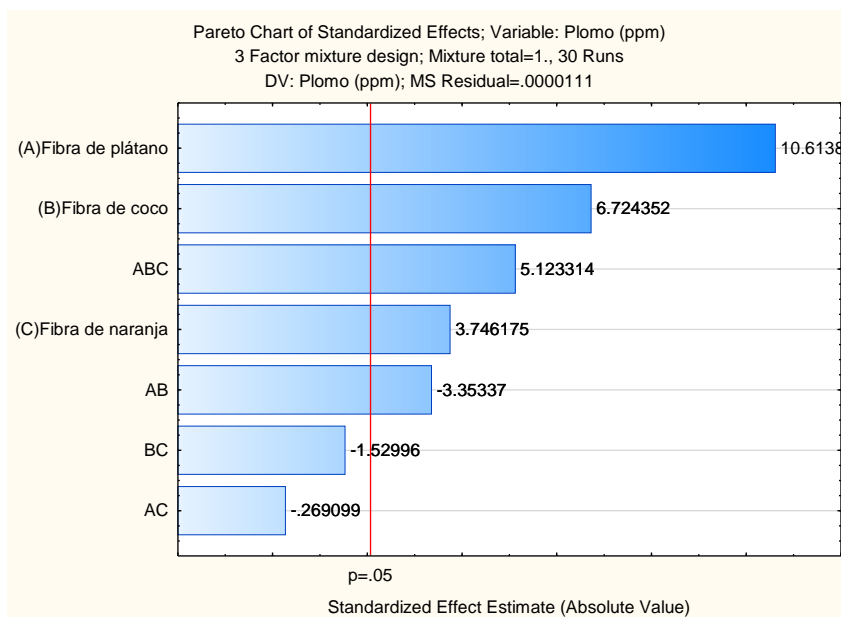


Figura 24. Diagrama de Pareto para la variable Plomo.

En la figura 24, para el plomo se observa que la fibra de plátano (A) no tuvo mayor efecto significativo. La cáscara de naranja (C) fue la más determinante en el tratamiento, además de la mezcla de plátano, coco y naranja (ABC) que también tuvieron una influencia en el proceso.

4.2.3. Análisis por superficie de Respuesta

En las siguientes figuras 25, 26 y 27 se observa las proporciones de fibra de plátano, fibra de coco y fibra de naranja óptima que permiten tener la máxima remoción de metales pesados. Comprobamos como las proporciones de fibra de coco por sí solas presentan un comportamiento positivo muy alto en la remoción del cobre en la figura 25. En la figura 26 se observa menor cantidad de concentración de hierro, por ende mayor remoción en la mixtura de coco y naranja. Finalmente, en la figura 27 se puede apreciar mayor remoción de plomo se dio con la fibra de coco y en menor proporción la fibra de naranja.

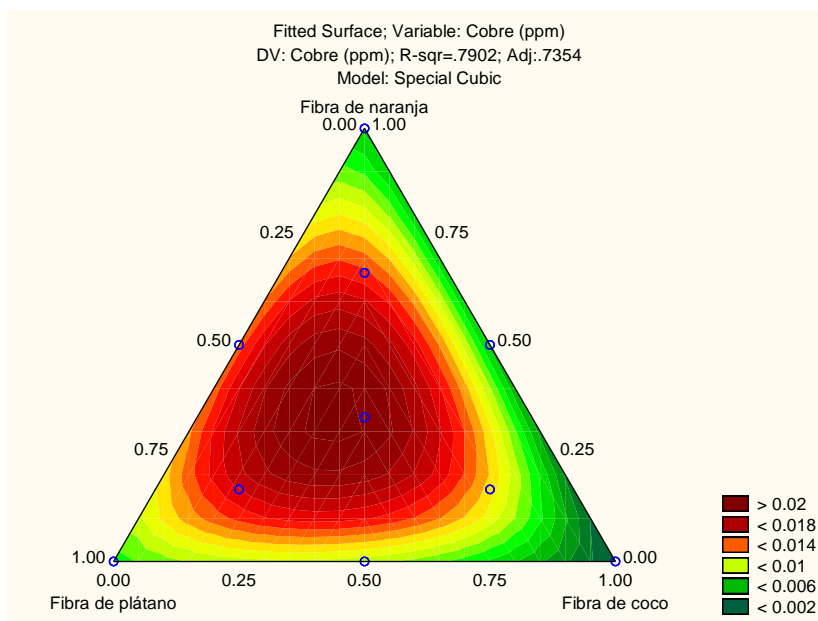


Figura 25. Superficie de respuesta de contorno para la remoción del cobre.

En la figura 25 la región de interés que indica la máxima remoción de cobre está representada por la zona de color verde oscuro. Se puede apreciar de manera general que con

un 95 % de fibra coco, 4 % de fibra de naranja y 1 % de fibra de plátano se logra una mayor remoción del cobre.

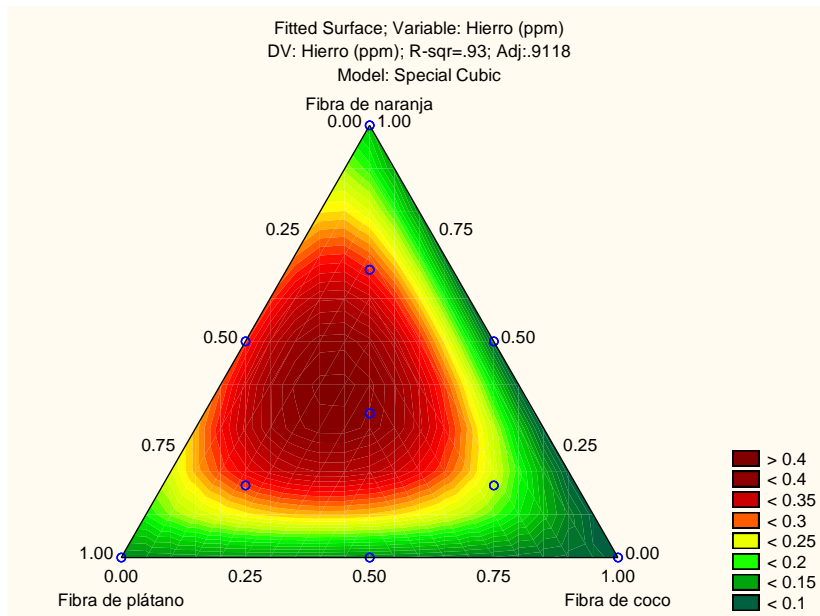


Figura 26. Superficie de respuesta de contorno para la remoción del hierro.

De forma similar para el hierro, la zona de color verde oscuro representa el máximo de eficiencia. Con valores de 85%, 15% y 0% de coco, naranja y plátano se observa mayor remoción de hierro.

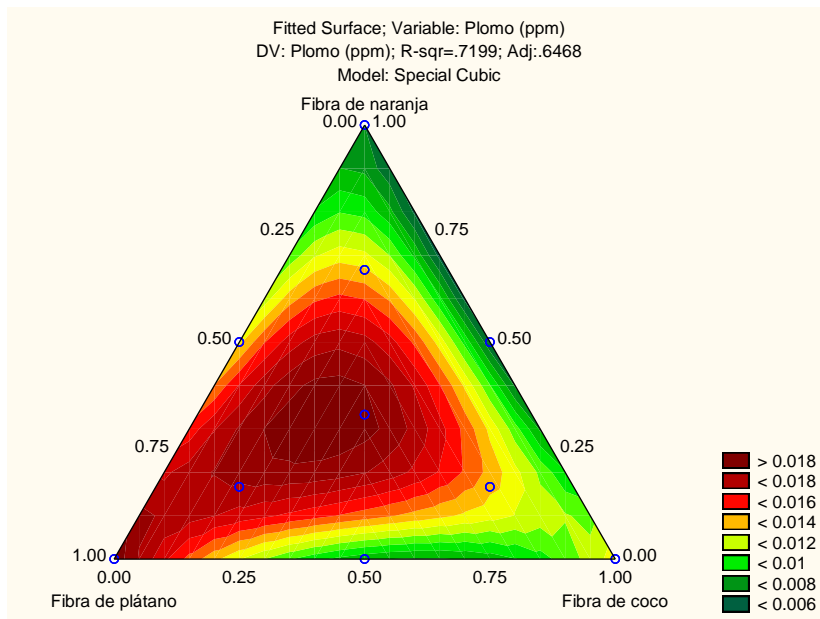


Figura 27. Superficie de respuesta de contorno para la remoción del plomo.

Para el caso del plomo la zona donde se observa una máxima remoción está representada por la zona de color verde oscuro con un 90% de naranja, 8 % de plátano y 2 % de coco, lo que indica que a estas proporciones es más eficiente la remoción del plomo. Cabe resaltar de acuerdo a la figura que la fibra de naranja es la más adecuada para el tratamiento de este metal.

4.3. Hipótesis

Como el p-value es menor a 0.05, se acepta la H_0 , por lo que el filtro adsorbente con materiales orgánicos (cáscara de plátano, coco y naranja) si es eficiente en la remoción del Cu, Fe y Pb presente en los efluentes mineros artesanales.

4.4. Cálculo del porcentaje de remoción

La eficiencia de remoción de metales pesados se calculó con la ecuación “1-valor inicial/valor final x 100 y tomando como datos la remoción real mínima del análisis de Cu, Fe y Pb plasmado en la siguiente tabla:

Tabla 21.
Eficiencia de remoción de Cu, Fe y Pb con los tratamientos.

Tratamiento	Concentración del metal (mg/l)						% remoción		
	Inicial			Final					
	Cu	Fe	Pb	Cu	Fe	Pb	Cu	Fe	Pb
T1				0.008	0.134	0.018	85.45	90.14	93.16
T2				0.002	0.115	0.013	96.36	91.54	95.06
T3				0.004	0.148	0.007	92.73	89.11	97.34
T4				0.010	0.153	0.008	81.82	88.74	96.96
T5	0.055	1.359	0.263	0.013	0.297	0.011	76.36	78.15	95.82
T6				0.004	0.108	0.007	93.09	92.05	97.34
T7				0.014	0.287	0.023	74.55	78.88	91.26
T8				0.012	0.171	0.012	78.18	87.42	95.44
T9				0.020	0.347	0.015	63.64	74.47	94.30
T10				0.018	0.425	0.017	67.27	68.73	93.54

En la tabla 21 se observa que el mayor % de remoción para el cobre se obtuvo con el tratamiento 2 que contiene exclusivamente cáscaras de coco, para el hierro con el tratamiento 6 que es la mezcla de coco y naranja y para el plomo el tratamiento más efectivo fue el tercero y el sexto que contienen fibra de naranja y la mezcla de coco y naranja, respectivamente.

4.5. Comparación de los resultados físicos y metales pesados con la norma

Se realizó la comparación de los resultados obtenidos con los Límites Máximos Permisibles para la descarga de Efluentes Líquidos de actividades Minero-Metalúrgicas, establecidos en el D.S.010-2010-MINAM.

4.5.1. LMP con parámetros físicos

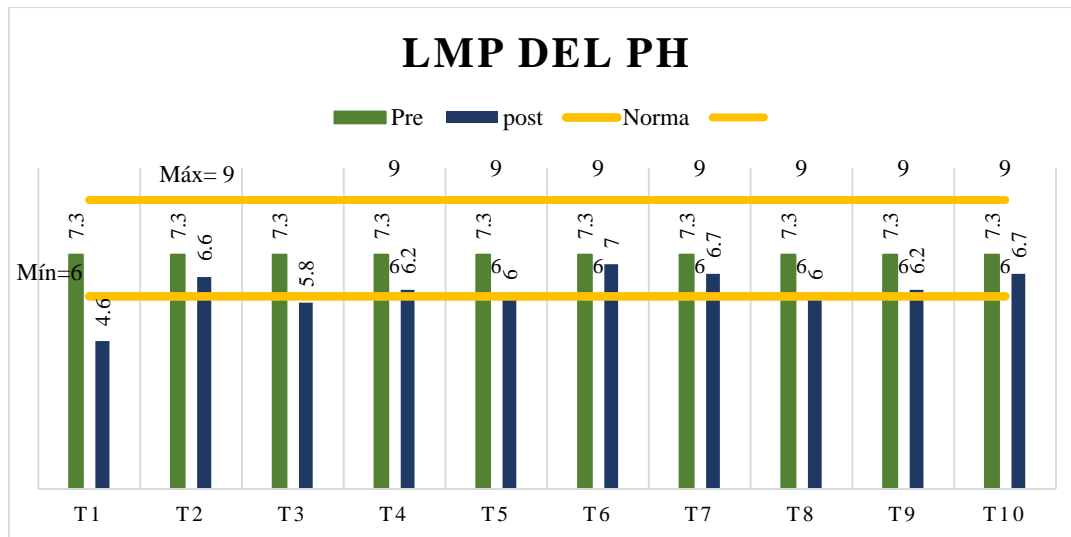


Figura 28. Límites Máximos Permisibles para el pH

El parámetro establecido en el decreto D.S.010-2010-MINAM para el pH es de 6-9, por lo que observamos que antes del tratamiento el efluente tenía 7.3, dentro del rango; sin embargo después del tratamiento el efluente del filtro 1 presenta un pH de 4.6, no encontrándose dentro del LMP al igual que el filtro 3 que presenta un valor de 5.8 a diferencia del filtro 3 con 6.6 alcanzando el valor que establece la norma.

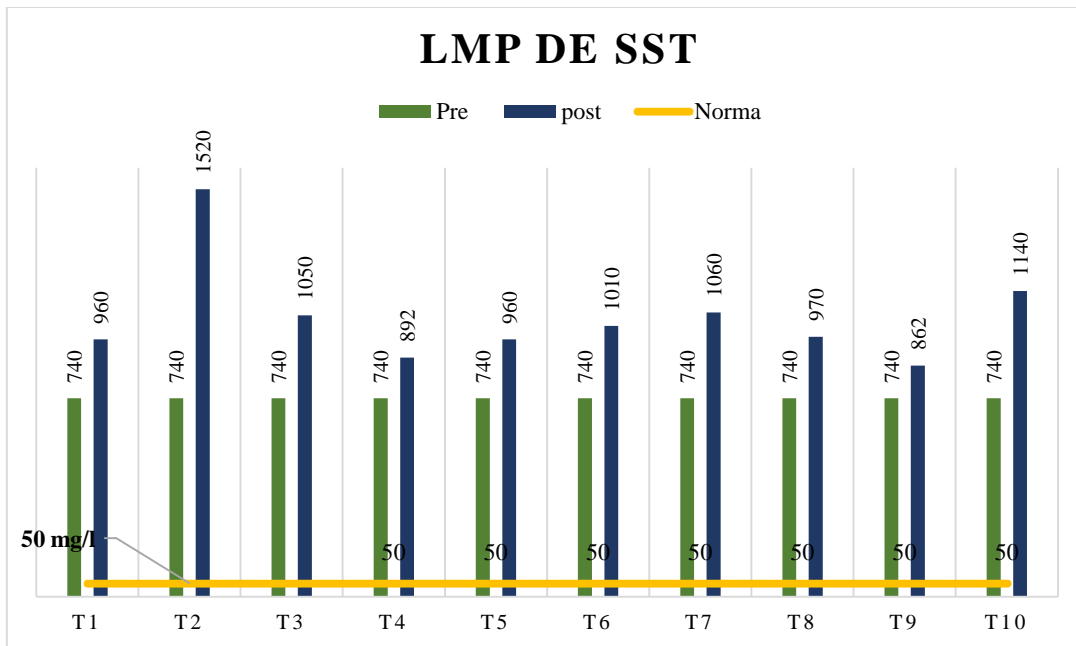


Figura 29. Límites Máximos Permisibles para los Sólidos Suspendedos Totales

Aquí podemos observar que el análisis pre tratamiento de SST es de 740 mg/l, mientras que el post tratamiento en el filtro 1, 2 y 3 presenta valores de 960, 1520 y 1050 mg/l, respectivamente. Por otro lado, el D.S.010-2010-MINAM establece como LMP 50 mg/l para este parámetro, concluyendo así que no cumple con el reglamento.

4.5.2. LMP con metales pesados

Los gráficos siguientes indican los valores tanto pre y post en contraste con la norma, los mismos que se encuentran dentro de la normativa.

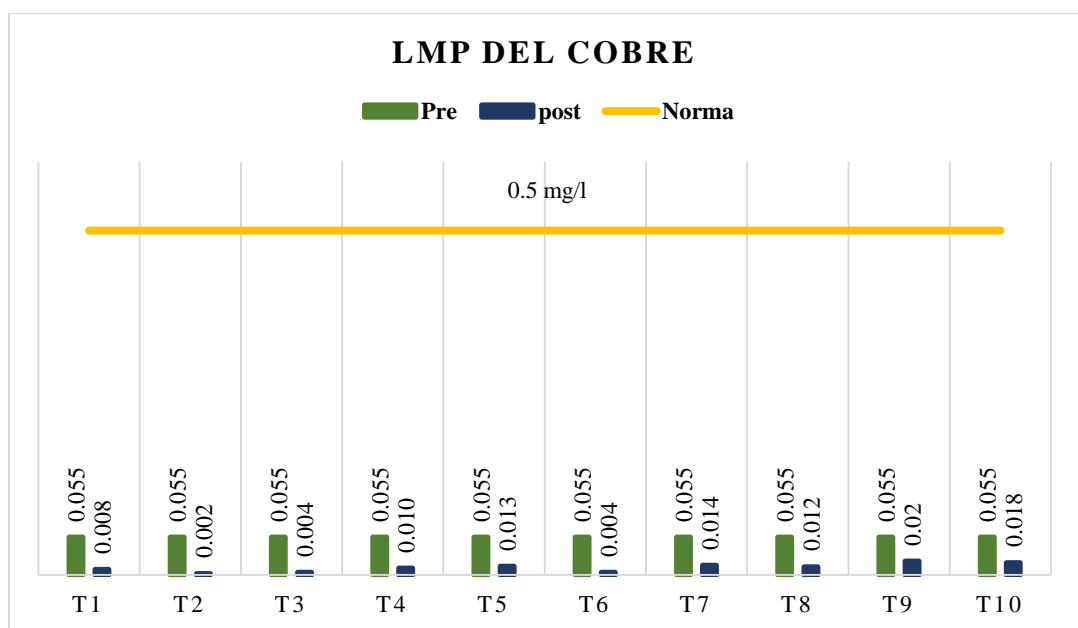


Figura 30. Límites máximos permisibles del cobre

Los valores de Cu inicial (pre) de 0.055 mg/l y los post se encontraban dentro de la normativa para actividades minero metalúrgicas. Sin embargo se pretendió buscar cuanto más se reduce con la aplicación de los materiales orgánicos; se observan reducción significativa de éstos.

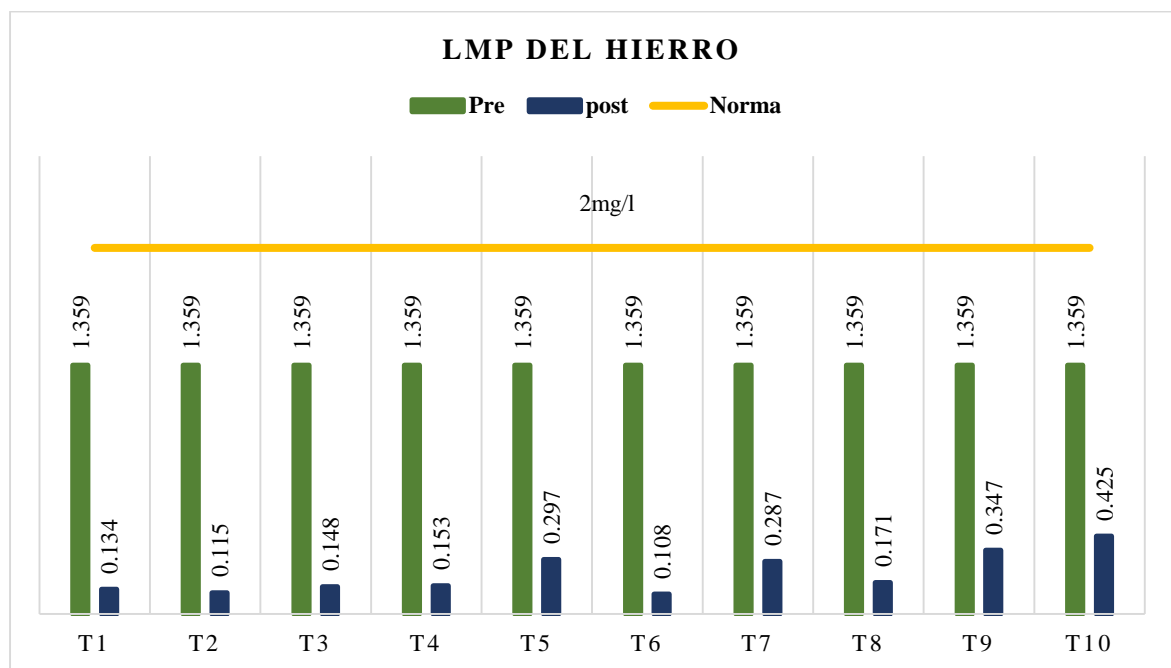


Figura 31. Límites máximos permisibles del Hierro

El Fe también mostró un pre de 1.359 mg/l y un post de considerablemente bajo. Los límites nos señalan que éste debe estar por debajo de los 2 mg/l.

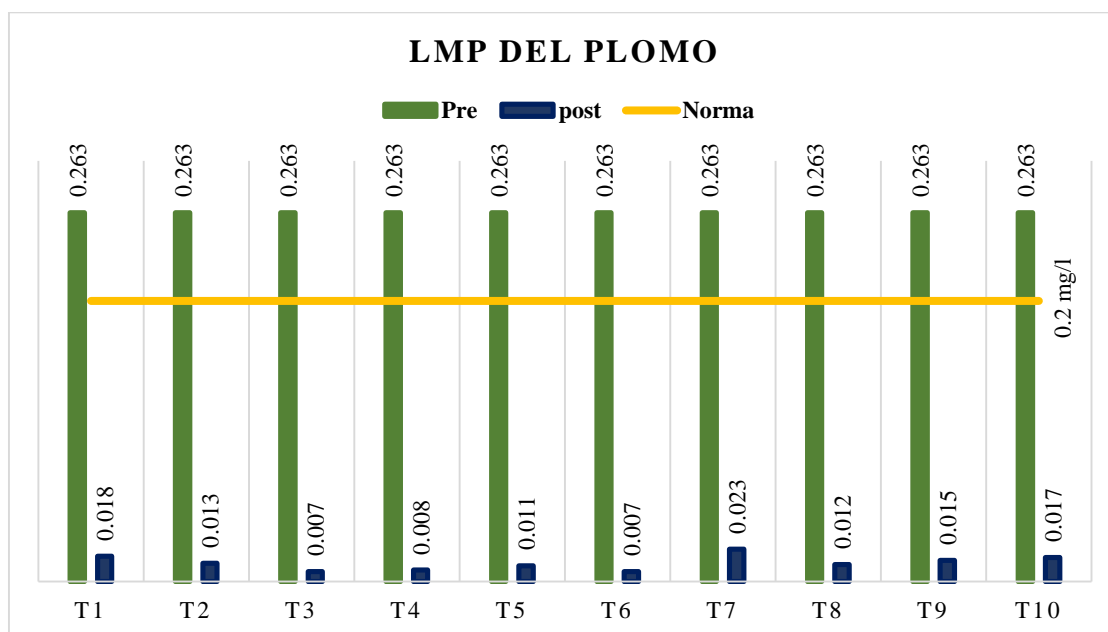


Figura 32. Límites máximos permisibles del Plomo

En éste caso el plomo el valor pre fue de 0.263 mg/l, superando los 0.2 mg/l del límite máximo permisible D.S 010-2010-MINAM. Después de los tratamientos, estos valores se ajustaron a la norma.

Discusiones

1. El pH de la solución en la entrada fue de 7.3 para los 10 tratamientos por ser única muestra; los valores de pH a la salida del T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9 y T10 fueron de 4.6, 6.6, 5.8, 6.2, 6, 7, 6.7, 6, 6.2 y 6.7, respectivamente. A partir de esto, inferimos que el pH sufrió una modificación (disminución) al contacto con los bioadsorbentes.

En su investigación Manals, Vendrell y Penedo (2015) estudiaron la Influencia de la masa de adsorbente en el pH final del líquido tratado. Los resultados demuestran que además de la eliminación de elementos metálicos presentes en el licor de desecho (WL) de la lixiviación ácida de mineral laterítico, se reduce la acidez del líquido tratado. Esto debido a que en el WL existen varios iones metálicos en disolución que intercambian con los iones superficiales del carbón; el incremento del pH del licor indica que en este caso el carbón actúa como una base liberando iones OH⁻ al medio. Asimismo (Sala F. , y otros, 2010) mencionan también que la mayoría de los efluentes industriales contienen más de un metal tóxico. Por ello, la biosorción en columnas es un proceso de intercambio iónico competitivo, donde varios iones compiten por un número limitado de sitios activos de coordinación del biomaterial. Además, Meza, Sun y Bendezú (2010) estudiaron la adsorción del plomo de efluentes industriales con astillas de eucalipto mediante activación química usando como agente activante al ácido fosfórico (H₃PO₄), para efectos del estudio de la influencia del pH se realizó variando el pH de la solución inicial en un rango de 2-9. Los resultados muestran que en un rango de pH entre 2-5 el pH inicial > pH final. Esto se debería a que en este rango de pH, la reacción entre el agua y la superficie del carbón produce la liberación de iones OH incrementándose de esta

manera el valor del pH. La liberación de OH produciría la protonación de la superficie del carbón, quedando la superficie cargada positivamente. Sin embargo a pH mayor a 5 el pH final < pH inicial lo que implica que en la interfase agua-superficie carbón activado, se produciría la liberación de iones H^+ , disminuyendo el valor del pH final con respecto al pH inicial, y por lo tanto se produce la desprotonación de la superficie del carbón, quedando ésta cargada negativamente. Este fenómeno explicaría por qué el pH en todos los tratamientos realizados disminuyó con respecto al inicial, ya que el valor de pH pre tratamiento fue de 7.3. Comparando estos resultados con los Límites Máximos Permisibles para la descarga de Efluentes Líquidos de actividades Minero-Metalúrgicas, establecidos en el D.S.010-2010-MINAM, podemos observar que con los 10 tratamientos, los valores de pH, cumplen con la normativa vigente.

2. En la figura 18 se observa a los sólidos suspendidos totales, con un inicial (antes del tratamiento) de 740 mg/l y con valores finales (después del tratamiento) de 960 mg/l para el tratamiento 1 (T1), 1520 mg/l tratamiento 2(T2) y 1050 mg/l para el tratamiento 3 (T3); para los otros tratamientos los resultados fueron similares. Se puede notar que éste parámetro se incrementó considerablemente, esto debido al hecho de que en el diseño del filtro no se consideró algunos mecanismos de retención de sólidos, tal cual lo hicieron algunos investigadores (Calero, Hernáinz, Ronda y Martín-Lara, 2012) , centrifugar y filtrar las muestras para eliminar sólidos que pudieran haber sido arrastrados. Además porque se trató de una simultánea biosorción en presencia de otros metales, y la posible oxidación de algunos de ellos, también podrían haber contribuido al aumento de SST. Como es el caso del hierro que una vez oxidado presenta tamaños muy pequeños que no se retienen en el

medio (Sommerrfeld, 1999). Las especies de hierro (ion Fe^{3+}) se encuentra generalmente en forma de sólidos suspendidos, por lo que se requiere una cuidadosa evaluación en los procesos de biosorción (Sala, et al., 2010).

Por otro lado, el incremento de los sólidos suspendidos totales pudo haber ocurrido porque en la superficie de dichas partículas pueden transportar ciertos patógenos, por tratarse de materiales orgánicos (Sanz, 2013).

3. En la figura 19 se obtuvo un pre de 0.055 ppm y un post de 0.002 ppm para el tratamiento 2 (compuesto por un 100 gr. de cáscara de coco) y un 0.004 ppm tanto para el tratamiento 3 (con 100 gr. naranja) como para el 6 (mezcla de 50 gr. de coco y 50 gr. de naranja), éstos son los valores más bajos obtenidos para el plomo; en general se observa que la reducción de los valores en 0.053, 0.051 para los tratamientos en mención.

En una investigación realizada por Acheampong, Dapcic, Yeh y Lens (2013) con cáscara de coco y arena recubierta con óxido de hierro para la sorción de plomo en ensayos de lotes, encontraron que la cáscara de coco tenía una capacidad de adsorción de 0.46 mg/g-1 y una eficiencia del 93%.

El autor mencionado anteriormente junto a otros investigadores realizaron también el estudio cinético de éste mismo material para el cobre junto a la semilla de *Moringa oleífera*, sus resultados mostraron que la sorción estaba controlada por la difusión intrapartícula (Acheampong, Pereira, Meulepas y Lens, 2012). Esto es avalado por (Leyva, 2017) quien señala que la adsorción en general se debe a las interacciones entre los iones en solución y los grupos funcionales presentes en la superficie de los adsorbentes pero cuando se trata de adsorbentes de lecho fijo o empacado también interfieren la difusión intraparticular, y según (Vasco &

Betancur, 2014) Vasco y Betancur (2014) se trataría de la difusión del adsorbato hasta penetrar el adsorbente, con dos regiones, una atribuida a la difusión en la superficie y la otra en la intrapartícula.

Otro estudio por Pereira, Meulepas y Acheampong (2011) que se llevó a cabo con materiales agrícolas para regiones tropicales, demostró que la complejación de la superficie, la precipitación química, la adsorción física y el intercambio iónico fueron mecanismos que contribuyeron a la biosorción, éste último gracias a la presencia de un gran número de grupos funcionales observado en el coco como -OH, -CO y grupos carboxílicos.

4. En la figura 20 se observa el hierro con un valor pre tratamiento de 1.359 y valores post por cada tratamiento como sigue: T1= 0.134, T2= 0.115, T3= 0.148, T4=0.153, T5=0.297, T6= 0.108, T7= 0.287, T8= 0.171, T9=0.347 y T10=0.425. Se puede observar claramente que en todos los tratamientos se disminuyó el hierro. Pero el que presenta los mejores valores es el T6 compuesto por 50% coco y 50 % naranja (50 gr cada uno), seguido por el T2 compuesto por 100 % cáscaras de coco (100 gr). A partir de esto se puede inferir que tanto el coco como la naranja son efectivas para el atrapamiento de hierro, resaltando la actuación del coco como superior, ya que se encuentra en los dos tratamientos. La cáscara de coco tiene una alta capacidad de sorción debido a su alto contenido en taninos (Agbozu & Emoruwa, 2014)(Agbozu y Emoruwa, 2014).

Makishima, Liz y Carrijo (2002) afirman que el uso de la cáscara de coco como material de biosorbente presenta un potencial fuerte debido a su alto contenido de lignina de aproximadamente (35 a 45%) y de celulosa alrededor de (23 a 43%), lo que posibilita la remoción de los metales.

Se cree que varios mecanismos de unión al metal están involucrados en el proceso de biosorción, incluyendo través de mecanismos físicos y químicos, como la adsorción y el intercambio iónico (Mejía ,2006; Matheickal, Yu y Woodburn, 1999). La Cáscara de coco es un material compuesto de varias constituyentes, entre ellos lignina ácido y celulosa tienen varios grupos funcionales polares incluyendo carboxílico y grupos de ácido fenólicos que pueden estar implicados en el metal de unión (Matheickal, Yu y Woodburn, 1999). La celulosa y la lignina son biopolímeros fuertemente asociados a la eliminación de metales pesados (Gaballah, Goy, Kilbertus y Thauront, 1994; Gaballah, Goy, Allain, Kilbertus y Thauront, 1997).

En su investigación, (Agbozu y Emoruwa, 2014) cuyo objetivo fue evaluar la eficiencia de eliminación de los metales Cu, Fe, Cr y Cd utilizando cáscara de coco como adsorbente, con pH 10 y tiempo de contacto de 60 minutos encontraron una remoción de 99 % Cd, 85% Cr, 75 % Cu, 73% Pb y un alta eficiencia de 95% para el hierro, respaldando así la presente investigación. Por otro lado, en cuanto a la capacidad de absorción de la naranja en la remoción de hierro y plomo, Samaniego, Arzamendia, y Ayala (2016) determinaron en su estudio que a pH=4.5-5, tamaño de partícula 0.5 mm por un tiempo de contacto de 4 horas, los porcentajes de remoción de Fe y Pb, fueron de 89.95 y 96.61, respectivamente.

5. En la figura 21 se observa el plomo con un valor pre tratamiento de 0.263 y valores post por cada tratamiento como sigue: T1= 0.018, T2=0.013, T3=0.007, T4=0.008, T5=0.011, T6= 0.007, T7= 0.023, T8= 0.012, T9=0.015 y T10=0.017. De allí, podemos observar que hubo eliminación del plomo en cada tratamiento, sin

embargo el efecto más significativo lo tuvo el T3 compuesto por 100 % cáscaras de naranja (100 gr) y T6 compuesto por 50% coco y 50 % naranja (50 gr cada uno). En comparación con los otros metales, la cáscara de naranja tuvo una mayor participación en la captura del plomo. La presencia de grupos funcionales como amino, hidroxil, carboxílico, sulfhidrilo y fosfato ha sido demostrada en numerosos biosorbentes usados en la actualidad y considerando que no todos los bioadsorbentes poseen las mismas cualidades, se identifica cada biosorbente con un determinado ion metálico, tornándolos altamente selectivos frente a otros cationes. La capacidad de adsorción de los biosorbentes estudiados no puede ser atribuida a un único grupo funcional, pero entre ellos existe uno que posee mayor afinidad con el ion metálico (Navarro, Ramos, Campos y Maldonado 2006). La pared celular de los diferentes tipos de biosorbentes difiere significativamente una de otras, en cuanto a los grupos funcionales que se encuentran presentes, tipo y tamaño de poros, cadenas de polisacáridos, etc. (Marshall y Espinoza, 2016) . La composición aproximada de la cáscara de *Citrus Sinensis* es básicamente de tres componentes como es la pectina (42.5%), azúcares solubles (16.9%), hemicelulosa (10.5%) y celulosa (9.21%) (Garcés y Coavas, 2012; Cerón y Cardona, 2011).

La cáscara de naranja a diferencia de la cáscara de plátano y coco pasó por dos tratamientos adicionales, desmetoxilación con Hidróxido de sodio (NaOH) y reticulación con Cloruro de Calcio (CaCl) basados en la metodología de diversos estudios y con el objeto de exponer sus sitios activos y lograr una mayor eficiencia de remoción. Según Cardona, Cabañas y Zepeda (2013) la cáscara de naranja presenta un buen porcentaje de pectina, fibra natural que también lo contienen otras frutas y vegetales; cuando ésta recibe un tratamiento con Ca^{2+} , la remoción de

metales se da por un intercambio iónico metal-calcio. El objetivo de la reticulación de la naranja fue la de inducir una previa desprotonación de los grupos ácidos de la superficie del adsorbente mediante el entrecruzamiento de las cadenas alginatadas con iones calcio, para luego, mediante un mecanismo de intercambio iónico, desplazar a los iones calcio adsorbidos, por el catión metálico.

Basados en los estudios citados anteriormente, se puede decir que el mayor porcentaje que compone la cáscara de naranja y el que tuvo mayor actuación en la eliminación del plomo es la pectina. Según (Badui, 1990) estas cáscaras son una buena fuente de pectina; las cortezas de limón, toronja y naranja contienen de 25 a 40% de pectinas en base seca (Badui, 1990). Las pectinas están conformadas por polisacáridos aniónicos heterogéneos que se encuentran en la pared celular de vegetales; Estos polisacáridos están conformados principalmente por unidades de ácido D-galacturónico, mediante los cuales algunos de los grupos carboxilo se encuentran metoxilados (García , Yipmantin , Guzmán, Pumachagua y Maldonado, 2011). El mecanismo de biosorción de metales en pectinas provenientes de cítricos está determinado principalmente por el número de grupos de ácidos carboxílicos presentes, los cuales son mayores en pectina de bajo grado de metoxilación y se encuentran en menor cantidad cuando tienen altos grados de metoxilación (García et. al, 2011).

Diversos estudios avalan la eficiencia de la naranja en la eliminación del plomo, algunos se mencionan a continuación: Tejada, Herrera y Núñez (2016) realizaron una investigación usando biomasa residual, a partir de cáscara de naranja y zuro de maíz para la remoción del plomo variando el pH y el tamaño de partícula. Se encontró que las biomasas presentaron mayor capacidad de adsorción a condiciones de tamaño de partícula de 0.5 mm, para el zuro de maíz y 1mm, en la cáscara de

naranja, a un pH de 6, con valores de remoción de 67,5% y 99,2%, respectivamente. Asimismo Fuentes y Vizcaíno (2015) estudiaron la biosorción de cd, pb y zn por biomasa pretratada de algas rojas, cáscara de naranja y tuna con el objeto de disminuir su concentración. Los resultados mostraron una eficiencia similar de las tres biomasas para remover Cd y Pb, con promedios superiores al 95%, mientras que el Zn se removió con mejor eficiencia (62%) al emplear tuna modificada como sorbente.

Por otro lado, es de nuestro conocimiento que existen parámetros como el pH, la temperatura, el tiempo de contacto y tamaño de partícula que influyen en el proceso de bioadsorción, los cuales utilizados en condiciones óptimas perfeccionarían los resultados.

- *pH*: A bajos valores de pH (3-4) los ligandos de las paredes celulares estarían asociados con los iones hidronio (H_3O^+) que restringen el acceso a los ligandos de los iones metálicos como resultado de fuerzas repulsivas, esta repulsión es fuerte a bajos valores de pH. Cuando el pH se incrementa, más grupos funcionales están disociados y se convierten en provechosos enlazantes de iones, esto debido a que hay menos competencia de iones hidrógeno en la solución, donde se alcanza la máxima capacidad de biosorción (Muñoz, 2007) (Yu , y otros, 2013), y es que valores de pH mayores a 4.5 favorecen la adsorción de cationes, en caso de los aniones la preferencia está dirigida a pH con rangos de 1.5-4 (Garcés y Coavas, 2012).
- *Tamaño de partícula*: El tamaño de partícula utilizado en esta investigación fue de 0.250 mm que corresponde a una clasificación de malla #60 según la ASTM, para los tres adsorbentes: Plátano, coco y naranja. Estudios señalan que el tamaño partícula también cumple un rol importante en el atrapamiento de iones metálicos en efluentes

acuosos. La teórica afirma que mientras menor sea el tamaño mejor será la adsorción, por lo que hay mayor superficie de contacto (Cardona, Cabañas, y Zepeda, 2013).

Basados en los diferentes estudios, era de esperarse que el tamaño de partícula de la investigación (0.250 mm) afecte positivamente a la bioadsorción.

- *Tiempo de contacto:* El tiempo de contacto empleado en la investigación fue constante (3 horas), para todos los experimentos. Algunos autores Ibrahim, Hassan, y Azab (2016) consideran a éste como el parámetro más importante que afecta a la eficiencia de la biosorción. Los mismos, realizaron una investigación con polvo de *Ulva lactuca* (AP) y su carbón activado (AAC) con diferentes tiempos de contacto (5–120 min) para la adsorción de iones Cu^{+2} , Pb^{+2} , Cr^{+3} y Cd^{+2} y tuvieron como resultado que la eficiencia de adsorción aumenta con el aumento de tiempo de contacto hasta 60 min, después de lo cual es más o menos constante. Por otro lado, Agbozu y Emoruwa (2014) experimentaron la adsorción a diferentes intervalos de tiempo: 20, 40 y 60 min en iones metálicos mixtos; se observó que se consiguió rápidamente la eliminación de metales ensayados, dentro de un corto período de 20 min. La adsorción máxima de iones de Cd y Cr se alcanzó dentro de 20 min, mientras que la de Cu estaba dentro de 40 min; la adsorción de Fe y Pb aumenta con el aumento del tiempo de contacto. En general, la tendencia observada de eliminación de metal fue: $\text{Pb} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{Fe} > \text{Cd}$ dentro de un corto período de 30 min.
- *La temperatura:* puede llegar a influenciar en la solubilidad de los metales y la química del agua (Fritioff, Kautsky, y Greger, 2005). Éste parámetro es crucial en procesos de reacciones de adsorción. En su tesis doctoral Calderón (2015) señala que hay dos aspectos que van a definir el grado de energía de retención de un soluto por un sólido adsorbente: la naturaleza química de la especie retenida más su grado de solvatación y los centros activos de la superficie del sólido. De acuerdo a la teoría de

adsorción, la adsorción decrece con el incremento de la temperatura y las moléculas adsorbidas en una superficie tienden a desorberse al encontrarse con temperaturas elevadas, y en su mismo artículo de adsorción de plomo y cadmio Horsfal y Spiff (2005) indicaron que temperaturas entre 30° a 80° C, la magnitud de adsorción sigue decreciendo, éstos sugiere que con el aumento de la temperatura, las fuerzas atractivas que existen entre la superficie biomasa y ion metálico se debilitan y la adsorción disminuye, es decir, hay una interacción de adsorción débil. Esta afirmación es avalada por Aksu y Kutsal (1991) que “a altas temperaturas, el espesor de la capa límite disminuye, debido a la mayor tendencia del ion metálico a escapar de la superficie de la biomasa a la fase de solución, lo que resulta en una disminución de la adsorción a medida que aumenta la temperatura”.

CAPÍTULO V:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se ejecutó el estudio planteado y se concluye que:

1. Se obtuvieron los bioadsorbentes (Cáscaras de naranja, coco y plátano) de diferentes lugares; el plátano orgánico se compró en el mercado de frutas de Ñaña-Lima, cuya cáscara fue utilizada en el proceso; la cáscara de naranja se obtuvo de los residuos de los vendedores ambulantes de jugo de esta fruta; y la cáscara de coco fue obtenida de los sembríos de coco de la ciudad de Tarapoto, departamento de San Martín. La preparación de los adsorbentes constó de cortar, lavar, triturar, secar, tamizar las cáscaras; metodología basada en investigaciones similares.
2. Al realizar el análisis de las muestras por Fluorescencia de Rayos X, se encontró Cobre (Cu), Hierro (Fe) y Plomo (Pb) en concentraciones de 0.055, 1.359 y 0.263 ppm, respectivamente. Los parámetros físicos de trabajo pH 7.3, SST 740 mg/l y temperatura 26.5 °C, los cuales sirvieron para posteriormente determinar la eficiencia de remoción.
3. El sistema de tratamiento estuvo compuesto por diez filtros en columnas con diferentes proporciones de cáscaras orgánicas lignocelulósicas (plátano, coco y naranja), según lo establecido en el diseño estadístico Diseño Simplex Lattice.
4. El modelo estadístico Simplex Lattice permitió establecer qué tratamiento es el más eficiente en la remoción de cobre, hierro y plomo, dando como resultado que las cáscaras de plátano tuvieron una mayor participación en la remoción del Plomo, las de

coco en la remoción del Cobre y Hierro, y las cáscaras de naranja al igual que las de coco, tuvieron mayor actuación en la remoción del Hierro.

Estadísticamente y mediante el modelo regresión cúbica especial se demostró que los tratamientos si tuvieron los resultados esperados: Para cobre el valor P fue de 0.000305 y el coeficiente de determinación R^2 0.790156. Para el hierro, el valor P 0.000000 y coeficiente de determinación R^2 0.930029. El valor P del plomo fue de 0.000034 y el coeficiente de determinación R^2 0.719867. Considerando que el valor de R^2 , es mejor mientras más se acerca a 1, y que ($p < 0,05$) es significativo.

La comparación de los parámetros físicos y de metales después del tratamiento con los Límites Máximos Permisibles para la descarga de Efluentes Líquidos de actividades Minero-Metalúrgicas, establecidos en el D.S.010-2010-MINAM muestran en general que estuvieron dentro de lo establecido ($pH= 6-9$; $SST=50$ mg/l; $Cu=0.5$ mg/l; $Fe=2$ mg/l $Pb=0.2$ mg/l) con excepción de los Sólidos Totales en Suspensión (960 mg/l- 1520 mg/l) que por efectos de su origen orgánico resultaron en valores altos. Cabe recalcar que a pesar de que de los tres metales en estudio (Cu, Fe y Pb) sólo el Fe estaba por encima de los valores de la norma antes del tratamiento, si hubo una importante eficiencia en la bioadsorción y estos materiales orgánicos si mejoran la calidad de los efluentes.

5. Los porcentajes de remoción más óptimos alcanzados en los tratamientos fueron como sigue: El tratamiento dos (T2), con cáscaras de coco (100 gr) fueron eficientes en cobre con 96.36%; para el hierro el tratamiento dos y seis (T2 y T6) compuestas por coco (100 gr) y coco-naranja (50 gr cada uno), se obtuvo 91.54 % y 92.05%, respectivamente. El tratamiento tres (T3) compuesto por 100 % naranja (100 gr) y el tratamiento 6 (T6) coco-naranja (50 gr de cada uno), presentaron la mejor eficiencia con 97.34 % en la remoción del plomo.

6. Los filtros bioadsorbentes con fibras lignocelulósicas si fueron eficientes en la remoción de metales pesados del efluente minero metalúrgico. Éstos representan una alternativa viable para remover metales pesados presentes en los efluentes industriales de origen minero. Por su naturaleza orgánica y procedencia de “residuos”, son mejor valorados y aprovechables ambientalmente.

5.2. Recomendaciones

1. Se recomienda usar algunos mecanismos de retención de sólidos en el filtro para eliminar sólidos que pudieran haber sido arrastrados en el proceso.
2. Gestionar adecuadamente el acceso a los efluentes mineros, para evitar retrasos y el cumplimiento de los objetivos.
3. Realizar un monitoreo previo del efluente para determinar con mayor precisión las variables de estudio.
4. Determinar las fuentes de apoyo y/o financiamiento de la investigación.
5. Se sugiere enfocar la investigación al tipo aplicada y de innovación para solicitar a entidades y/o universidades el financiamiento del proyecto.
6. Se recomienda realizar investigaciones para encontrar otras fuentes orgánicas de lignocelulosa, con materiales de fácil acceso en la zona de estudio.
7. Buscar desarrollar nuevas alternativas usando nanotecnología en materiales orgánicos con miras a la industrialización.
8. Investigar más acerca de métodos físicos y químicos para modificar las características de la biomasa y aumentar la capacidad de bioadsorción.
9. Realizar investigaciones sobre la selectividad del bioadsorbente con una mezcla de iones.

10. Investigar más a fondo sobre la adsorción en columna, variando sus condiciones y aplicando los modelos matemáticos.
11. Se recomienda realizar un estudio en cuanto a qué tratamiento o procedimiento seguir para la valorización de la materia orgánica “contaminada” una vez realizada la bioadsorción.
12. Se requiere realizar un estudio de factibilidad en efluentes mineros del país utilizando materiales bioadsorbentes accesibles para aplicarse a gran escala.

REFERENCIAS

- Abdulrasaq, O., & Basiru, O. (2010). Removal of copper (II), iron (III) and lead (II) ions from Mono-component Simulated Waste Effluent by Adsorption on Coconut Husk. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 382-387.
- Acheampong, M., Dapcic, A., Yeh, D., & Lens, P. (2013). Cyclic Sorption and Desorption of Cu(II) onto Coconut Shell and Iron Oxide Coated Sand. *Separation Science and Technology*, 48: 2786–2794.
- Acheampong, M., Pakshirajan, K., Annachhatre, A., & Lens, P. (2013). Removal of Cu (II) by biosorption onto coconut shell in fixed-bed column systems. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19(3), 841-848.
- Acheampong, M., Pereira, J., Meulepas, R., & Lens, P. (2012). Kinetics modelling of Cu(II) biosorption on to coconut shell and Moringa oleifera seeds from tropical regions. *Environmental Technology*, 33 (4); 409–417.
- Agbozu, I., & Emoruwa, F. (2014). Batch adsorption of heavy metals (Cu, Pb, Fe, Cr and Cd) from aqueous solutions using coconut husk. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 8(4), 239-246.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2007). *Toxicological Profile for Arsenic: U.S. Department of Health and Human Services*. EE.UU: Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- Ahmad, T., & Danish, M. (2018). Prospects of banana waste utilization in wastewater treatment: A review. *Journal of Environmental Management*, 206, 330-348.
- Aksu, Z., & Kutsal, T. (1991). A bioseparation process for removing lead (II) ions from waste water by using *C. vulgaris*. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 109-118.
- Albarelli, J., Rabelo, R., Santos, D., Beppu, M., & Meireles, A. (2011). Effects of supercritical carbon dioxide on waste banana peels for heavy metal removal. *The Journal of Supercritical Fluids*, 58(3), 343-351.
- Ali, A. (2017). Removal of Mn(II) from water using chemically modified banana peels as efficient adsorbent. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 57-63.
- Ali, H., Khan, E., & Anwar, M. (2013). Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications. *Chemosphere*, 869-881.
- Alloway, B. (2013). Sources of heavy metals and metalloids in soils. In *Heavy metals in soils*. Springer, Dordrecht, 11-50.
- Al-Saydeh, S., El-Naas, M., & Zaidi, S. (2017). Copper removal from industrial wastewater: A comprehensive review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 35-44.
- Amangandi, A. M. (2017). *Remoción de plomo en agua residual mediante bioabsorción obtenida del bagazo de caña de azúcar (Tesis de pregrado)*. Riobamba, Ecuador: Escuela superior politécnica de Chimborazo.
- Amatriain, M. (2000). *Efectos del exceso de hierro sobre la salud*. Toronto.
- Anderson, J., Thundiyil, J., & Stolbach, A. (2012). Clearing the air: a review of the effects of particulate matter air pollution on human health. *Journal of Medical Toxicology*, 8(2), 166-175.
- Arce, R. (2017). La informalidad en la gestión ambiental. *PAIDEIA*, 3(4), 70-76.
- Aswathanarayana, U. (2003). Natural resources and environment. *Geological Society of India*.
- Badui, S. (1990). *Química de los Alimentos*. Mexico, DF.: Alhambra Mexicana.
- Barakat, M. (2011). New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*, 4, 361–377.

- Barenys, M., Boix, N., Farran, A., Palma, L., Montserrat, R., Curto, A., & Llobet, J. (2014). Heavy metal and metalloids intake risk assessment in the diet of a rural population living near a gold mine in the Peruvian Andes (Cajamarca). *Food and chemical toxicology*, 71, 254-263.
- Barreto, C. (2013). *Obtención de carbón activado a partir de la pepa de aceituna para adsorción de metales pesados (Pb, As) en efluentes líquidos (Tesis doctoral)*. Callao: Universidad Nacional del Callao.
- Boada, P. (2015). *Estudio del proceso de biosorción de contaminantes en efluentes acuosos mediante cilantro (coriandrum sativum) (Tesis de pregrado)*. Quito, Ecuador: Universidad Central de Ecuador.
- Boontham, W., & Babel, S. (2017). Apiaceae Family Plants as Low-Cost Adsorbents for the Removal of Lead Ion from Water Environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol (216).
- Brastad, K., & He, Z. (2013). Water softening using microbial desalination cell technology. *Desalination*, 309, 32-37.
- Burgos, G., & Jaramillo, J. (2015). *Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la obtención de carbón activado, en el cantón milagro, provincia del guayas (Tesis de pregrado)*. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Cabrera, L. (2017). *Bioadsorción de iones de plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara del tomate de árbol (Solanum betaceum) (Tesis pregrado)*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Calderón, J. (2015). *Caracterización eléctrica de materiales adsorbentes cerámicos y carbonosos (Disertación doctoral)*. España: Universidad de Extremadura.
- Calero, M., Hernáinz, F., Blázquez, G., Dionisio, E., & Martín, M. (2011). Evaluación de la biosorción de cobre con cáscara de almendra. *Afinidad*, 68 (554), 274-284.
- Calero, M., Hernáinz, F., Ronda, A., & Martín-Lara, M. (2012). Biosorción de cobre con corteza de pino en columna de lecho de fijo: optimización de las variables del proceso. *Afinidad*, 175-184.
- Cárdenas, M. (2017). *Implicaciones de las actividades mineras informales en la calidad de vida de las familias de Huamachuco, Departamento de La Libertad, Peru (Tesis maestría)*. Minas Gerais-Brasil: Universidade Federal de Vicosa.
- Cardona, A., Cabañas, D., & Zepeda, A. (2013). Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II). *Ingeniería*, 17 (1), 1-9.
- Castro, 2. (2015). *Uso de la cáscara de banano (Musa paradisiaca) maduro deshidratada(seca) como proceso de bioadsorción para la retención de metales pesados, plomo y cromo en aguas contaminadas (Tesis de maestría)*. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Cerón, I., & Cardona, C. (2011). Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja. *Ingeniería y Ciencia*, 7(13), 65-86.
- Changmai, M., Banerjee, P., Nahar, K., & Purkait, M. (2018). A novel adsorbent from carrot, tomato and polyethylene terephthalate waste as a potential adsorbent for Co (II) from aqueous solution: Kinetic and equilibrium studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 246-257.
- Cheremisinoff, N. (1996). *Polymer Characterization*. William Andrew.
- Cobos de Rangel, O., Buitrago, G., & Ospina, S. (2017). Grupo de biopolímeros y biofuncionales. Los biopolímeros, compuestos que mejoran la salud. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 11-13.

- Concha, L. (2017). *Estudio del tratamiento de aguas residuales industriales de bocaminas de la mediana minería (Tesis pregrado)*. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín.
- Condoy, P., Fabian, D., & Tinoco, B. (2019). Obtención de celulosa a partir de raquis de banano aplicado a la remoción de plomo y cadmio en solución acuosa (Bachelor's thesis, Machala: Universidad Técnica de Machala).
- Consejo Internacional de Minería y Metales. (2012). *Minería responsable en el Perú*. Lima: Consejo Internacional de Minería y metales.
- Córdoba, A., Hoyos, M., Rodríguez, L., & Uribe, R. (2016). Remoción de cadmio (II) y níquel (II) sobre cascarilla de arroz tratada química y térmicamente, como alternativa de descontaminación.
- Coronel, V. (2017). *Biosorción de Ciprofloxacina con bagazo de caña y mazorca de maíz en tanque agitado*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Cristaldi, A., Conti, G., Jho, E., Zuccarello, P., Grasso, A., Copat, C., & Ferrante, M. (2017). Phytoremediation of contaminated soils by heavy metals and PAHs. A brief review. *Environmental Technology & Innovation*, 309-326.
- Crittenden, J., Li, K., & Minakata, D. (2008). Understanding and Improving Process Performance of Advanced Oxidation Processes (AOPs).
- Deng, S., & Ting, Y. (2005). Fungal Biomass with Grafted Poly(acrylic acid) for Enhancement of Cu(II) and Cd(II) Biosorption. *Langmuir*, 21 (13), 5940–5948.
- Departamento de Protección Ambiental de Pensilvania. (s.f.). *Drinking Water Operator Certification Training: Module 19*. Pensilvania: Departamento de Protección Ambiental de Pensilvania (Pa. DEP).
- Dhir, B., & Kumar, R. (2010). Adsorption of heavy metals by *Salvinia* biomass and agricultural residues. *International journal of environmental research*, 4(3), 427-432.
- Duarte, E., Olivero, J., & Jaramillo, B. (2009). Remoción de cromo de aguas residuales de curtiembre usando quitosán obtenido de desechos de Camarón. *Scientia et technica*, 2(42)290-295.
- Duruibe, J., Ogwuegbu, M., & Ekwurugwu, J. (2007). Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International Journal of physical sciences*, 2(5), 112-118.
- ECURED. (19 de Mayo de 2019). *ECURED*. Obtenido de ECURED: https://www.ecured.cu/Anexo:Efecto_de_los_metales_pesados_en_la_salud_humana#Cobre
- Eróstegui, C. (2009). Contaminación por metales pesados. (K. P. Romero, Entrevistador)
- Espinosa, G., & Mera, G. (2015). *Alternativas ambientales para la remoción de cromo hexavalente en residuos líquidos de los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño (Tesis de Posgrado)*. Manizales, Colombia: Universidad de Nariño.
- Fatih, D. (2013). Dye removal by almond shell residues: Studies on biosorption performance and process design. *Materials Science and Engineering, C*, 33(5), 2821-2826.
- Flores, J., Marta, L., Tapia, N., & Maldonado, H. (2001). Biosorción con quitosano: estudios de equilibrio. *Revista de Química*, 15(2), 133-147.
- Flores, M., Moizes, D., Salazar, K., & Bravo, L. (2016). *Fitorremediación acuática con *Myriophyllum aquaticum* para el Tratamiento de efluentes generados por pasivos ambientales mineros de Hualgayoc-Cajamarca (tesis de pregrado)*. Callao, Peru: Universidad Nacional del Callao.
- Fluence Corporation Limited. (02 de setiembre de 2016). *Fluence*. Obtenido de Fluence: <https://www.fluencecorp.com/es/que-es-una-membrana/>
- Fritioff, A., Kautsky, L., & Greger, M. (2005). Influence of temperature and salinity on heavy metal uptake by submersed plants. *Environmental Pollution*, 133(2), 265–274.

- Fuentes, N., & Vizcaíno, L. (2015). Biosorción de cd, pb y zn por biomasa pretratada de algas rojas, cáscara de naranja y tuna. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25 (1), 43 - 60.
- Gaballah, I., Goy, D., Kilbertus, G., & Thauront, J. (1994). Decontamination of industrial effluents for environment protection and recycling of metals. *Resources, Conservation and Recycling*, 10(1-2), 97-106.
- Gaballah, I., Goy, D., Allain, E., Kilbertus, G., & Thauront, J. (1997). Recovery of copper through decontamination of synthetic solutions using modified barks. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 28(1), 13-23.
- Galiano, E. (2016). "No es que el camino sea difícil, es que lo difícil es el camino. el proceso de formalización de las actividades de pequeña minería y minería artesanal en Lima Metropolitana a partir del Decreto Legislativo n° 1105". (Tesis de postgrado). Lima: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ.
- Gallarday, T. E. (2006). Estudio del impacto ambiental de la extracción aurífera artesanal dentro de la jurisdicción política del distrito de Santa Risa de Quives, año 2006. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 9 (18) 98-108.
- Garces, L., Coavas, S., & Tejada, C. (2012). *Evaluación de la capacidad de adsorción en la cáscara de naranja (Citrus sinensis) modificada con quitosano para la remoción de Cr (VI) en aguas residuales (Disertación doctoral)*. Colombia: Universidad de Cartagena.
- García, V., Yipmantin, A., Guzmán, E., Pumachagua, R., & Maldonado, H. (2011). Estudio de la cinética de biosorción de iones plomo en pectina reticulada proveniente de cáscaras de cítricos. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 77(3), 173-181.
- García, M. (2017). *mining & metals investment*. Lima: Building a better working world.
- Gerena, F. (2013). *Obtención de jarabes azucarados a partir de la hidrólisis química de residuos de cáscaras de naranja (Citrus sinensis l var valencia) y papa(solanum tuberosum) variedad Diacol Capiro (R-12) para ser empleados como edulcorantes en la industria de alimentos*. Duitama: Universidad Nacional Abierta y a Distancia "UNAD".
- González, C., & Aristizábal, B. (2012). Acid rain and particulate matter dynamics in a mid-sized Andean city: The effect of rain intensity on ion scavenging. *Atmospheric Environment*, 60, 164-171.
- Grupo de Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable en América del Sur. (2002). Hallazgos y Desafíos de la Investigación. En *Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable en América del Sur* (pág. 58). London, United Kingdom: International Institute for Environment and Development (IIED), World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).
- Gu, J. D. (2018). Mining, pollution and site remediation. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 1-2.
- Guibal, E., & Roussy, J. (2007). Coagulation and flocculation of dye-containing solutions using a biopolymer (Chitosan). *Reactive and functional polymers*, 67(1), 33-42.
- Gunatilake, S. (2015). Methods of Removing Heavy Metals from Industrial Wastewater. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies (JMESS)*, 12-18.
- Han, J. (1998). Properties of Nonwood Fibers. In Proceedings of the Korean society of wood science and technology annual meeting. *Korean Society of Wood and Technology*, 3-12.
- Horsfal, M., & Spiff, A. (2005). Effects of temperature on the sorption of Pb²⁺ and Cd²⁺ from aqueous solution by Caladium bicolor (Wild Cocoyam) biomass. *Electronic Journal of Biotechnology*, 43-50.

- Huamán, G. (2005). *iossorção de Metais Pesados Utilizando Pó da Casca de Coco Verde (Cocos nucifera) (Tesis de pregrado)*. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- Huertas, J., Huertas, M., & Solís, D. (2012). Characterization of airborne particles in an open pit mining region. *Science of the total environment*, 39-46.
- Ibrahim, W., Hassan, A., & Azab, Y. (2016). Biosorption of toxic heavy metals from aqueous solution by *Ulva lactuca* activated carbon. *Egyptian journal of basic and applied sciences*, 3(3), 241-249.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2008). *Informe anual 2008*. Lima, Perú: Agencia de Cooperación Técnica en Perú.
- Integrating Research and Education. (19 de Mayo de 2019). *Geochemical Instrumentation and Analysis*. Obtenido de Geochemical Instrumentation and Analysis: https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/XRF.html
- International Agency for Research on Cancer. (2012). *Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts. A Review of Human Carcinogens*. Lyon, Francia: World Health Organization International Agency for Research on Cancer.
- International Institute for Environment and Development. (2002). Minería artesanal y en pequeña escala. En I. I. Development, *Abriendo brecha: minería, minerales y desarrollo sustentable* (págs. 429-459). London: International Institute for Environment and Development.
- Izquierdo, M. (2011). *Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción. Evaluación de materiales y modelación del proceso*. España: Universitat de València.
- Jaswal, A., Kumar, N., Prasad, A., & Kafatos, M. (2013). Decline in horizontal surface visibility over India (1961–2008) and its association with meteorological variables. *Natural hazards*, 68(2), 929-954.
- Kalogmou, E., & Moussipoulous, N. (2005). Atmospheric linkage between climate change and air pollution. *Proceedings of the Atmospheric Transport and Transformation at Urban and Local Scales–The Report of the Valencia Worksho*, 23-33.
- Kang, S., Jong-Un, L., & Kyoung-Woong, K. (2007). Biosorption of Cr (III) and Cr (VI) onto the cell surface of *Pseudomonas aeruginosa*. *Biochemical Engineering Journal*, 36(1), 54-58.
- Kanmani, P., Aravind, J., Kamaraj, M., Sureshbabu, P., & Karthikeyan, S. (2017). Environmental applications of chitosan and cellulosic biopolymers: A comprehensive outlook. *Bioresource Technology*, 295-303.
- Kumar, R., Sharma, R., & Singh, A. (2017). Cellulose based grafted biosorbents - Journey from lignocellulose biomass to toxic metal ions sorption applications - A review. *Journal of Molecular Liquids*, 232, 62-93.
- Kuramoto, J. (2001). *Artisanal and informal mining in Peru*. London: International Institute for Environment and Development.
- Kurniawan, T., & Babel, S. (2003). A research study on Cr(VI) removal from contaminated waste water using low cost adsorbents and commercial activated carbon. *Proceedings of the 2nd international conference on energy technology towards a clean environment*, 1110-1117.
- Lakherwal, D. (2014). Adsorption of heavy metals: a review. *International journal of environmental research and developmen*, 4(1), 41-48.
- Lara, J., Tejada, C., Villabona, A., Arrieta, A., & Granados, C. (2016). Adsorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao. *Revista Ion*, 29(2), 113-124.
- Laura, V. (2018). *Estudio de la determinación de la actividad floculante en aguas provenientes del río chili conteniendo As, Pb y Cr tratados con pectina obtenidos a*

- partir de la cáscara de naranja, limón y mandarina. Tesis de Posgrado. Arequipa-Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL SAN AGUSTIN DE AREQUIPA.*
- León, J. (2018). Remoción de Hierro y Plomo en aguas Residuales por Bioadsorción de la Cáscara de Naranja Agria. *Revista sobre Estudios e Investigaciones del Saber Académico*, (10), 69-75.
- Leyva, R. (2017). *Difusión Intraparticular de Metales Pesados durante la Adsorción sobre carbón activado*. México: Ediciones CYTED.
- Luque, A. E. (2016). “*Principales cambios económicos y sociales, en la comunidad ccochapiña donde se desarrolla el proyecto de exploración Sta. María, de la empresa minera Cerro Rojo S.A*” (Tesis de postgrado). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Magalhães, V., & Neves, M. (2012). Utilização do pericarpo de coco-verde (*Cocos nucifera* L.-Arecaceae) para remoção de resíduos de íons cromo (VI) em soluções aquosas. *Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia-ISSN*, 1984-5693, 3(1-2), 10-16.
- Makishima, N., Liz, R., & Carrijo, O. (2002). Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. *Horticultura Brasileira*, 20(4), 533-535.
- Manahan, S. (2004). *Environmental Chemistry*. CRC Press.
- Manals, E., Vendrell, F., & Penedo, M. (2015). Aplicación de carbón activado de cascarón de coco en adsorción de especies metálicas contenidas en el licor de desecho (WL) de la lixiviación ácida de mineral laterítico. *Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba*, 93-103.
- Mao, J., Won, S., Vijayaraghavan, K., & Yun, Y. (2009). Surface modification of *Corynebacterium glutamicum* for enhanced Reactive Red 4 biosorption. *Bioresource technology*, 100(3), 1463-1466.
- Marshall, R., & Espinoza, J. (2016). *Evaluación del poder biosorbente de las cáscaras de cítricos (Limón y Toronja) para eliminación de metales pesados; Plomo (Pb) y Mercurio (Hg) en aguas residuales sintéticas (Tesis pregrado)*. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Martín, Á. (2008). *Caracterización y aplicación de biomasa residual a la eliminación de metales pesados (Tesis doctoral)*. Granada: Universidad de Granada.
- Martínez, B., Gil, O., & Barón, A. (2006). Espectrometría de fluorescencia de rayos X. *Revista Colombiana de Física*, 38(2).
- Martínez, J. (2018). *Conflictividad socio-ambiental de la minería en el Perú. El caso de Cajamarca (Tesis de maestría)*. Universidad de León.
- Matheickal, J., Yu, Q., & Woodburn, G. (1999). Biosorción de cadmio (II) a partir de soluciones acuosas mediante la biomasa de marinealga *Durvillaea potatorum* pre-tratada. *Rev. Agua*, 33, 335-342.
- Medina, G. (2013). Realidad de la minería artesanal-informal en el Perú. *Testimonio*, 8-10.
- Mejía, G. (2006). Aproximación teórica a la biosorción de metales pesados por medio de microorganismos. *Grupo de investigación INCA-CES*, 1(1), 77-99.
- Meza, C., Sun, M. d., & Bendezu, S. (2010). Adsorción de plomo de efluentes industriales usando carbones activados con H₃PO₄. *Rev Soc Quím Perú.*, 76 (2).
- Minem. (2018). *Minería Sostenible en el Perú. Contribución al Desarrollo Nacional*. Ministerio de Energías y Minas.
- Ministerio del Ambiente - Minam. (2005). *Ley General del Ambiente 28611*. Lima: Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental.
- Minitab, I. (2007). Minitab 15, Manual de Usuario.

- Miranda, L., & Escobedo, E. (2017). BIOSORCION DE PLOMO DISUELTO EN SOLUCIONES ACUOSAS, CON CASCARA DE TUNA (*Opuntia ficus - indica*). *Revista Mundo Científico*, 34-38.
- Mohapatra, D., Mishra, S., & Sutar, N. (2010). Banana and its by-product utilisation: an overview. 323-329.
- Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. México: Limusa Wiley.
- Mosquera, C., Trillo, A., & Luján, A. (1999). *Propuesta para un Plan de Acción para el Proyecto GAMA*. Lima: Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación - COSUDE.
- Munir, A. (2006). *Dead end membrane filtration*. 1-33: Laboratory Feasibility Studies in Environmental Engineering.
- Muñoz, J. (2007). *Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja "citrus cinensis" pretratada (Tesis de pregrado)*. Lima, Perú:: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Navarro, A., Ramos, K., Campos, K., & Maldonado, H. (2006). Elucidación del efecto del pH en la adsorción de metales pesados mediante biopolímeros naturales: cationes divalentes y superficies activas. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 7(2).
- Neikov, O., & Yefimov, N. (2009). *Handbook of Non-Ferrous Metal Powders*. Russia: Elsevier.
- Nutrition Facts. (6 de Marzo de 2018). Obtenido de <https://www.nutritionfacts.us/coconut-water-health-benefits/>
- Obiri, S., Mattah, P., Mattah, M. M., Armah, F. A., Osae, S., Adu-kumi, S., & Yeboah, P. O. (2016). Assessing the Environmental and Socio-Economic Impacts of Artisanal Gold Mining on the Livelihoods of Communities in the Tarkwa Nsuaem Municipality in Ghana. *International Journal Environmental Research and Public Health*, 1-15.
- Onwu, F., & Ogah, S. (2010). Studies on the effect of pH on the sorption of cadmium (II), nickel (II), lead (II) and chromium (VI) from aqueous solutions by African white star apple (*Chrysophyllum albidum*) shell. *African Journal of Biotechnology*, 9(42), 7086-7093.
- Oré, F., Lavado, C., & Bendeزú, S. (2015). Oré Jiménez, F., Lavado Meza, C., & Bendeزú Montes, S. (2015). Biosorción de Pb (II) de aguas residuales de mina usando el marlo de maíz (*Zea mays*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 81(2), 122-134.
- Organización Mundial de la Salud. (2017). *Riesgos para la salud relacionados con el trabajo y el medioambiente asociados a la extracción de oro artesanal o a pequeña escala*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Ortiz, E. (2005). La experiencia de Holanda y Alemania en el uso de cargos por vertimientos de aguas residuales cm instrumento para el control de la contaminación hídrica. Elementos para decidir los parámetros a ser tenidos en consideración. *En Economía y Desarrollo*, 4 (1), 55-87.
- Pachas, V. H. (2011). *Historia de una incertidumbre: Hábitat, conflicto y poder en la minería artesanal de oro en el Perú*. Lima: Earth First SAC.
- Paredes, Z. (2011). Influencia de la minería informal sobre la contaminación del medio ambiente y la vulneración del derecho a la vida en Carabayllo. Período 2011. *LEX*, 10(9), 417-430.
- Pereira, J., Meulepas, R., & Acheampong, M. (2011). Biosorption of Cu(II) onto agricultural materials from tropical regions. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 86(9), 1184–1194.
- Peru Support Group. (2012). *Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Peru: A blessing or a curse?* London: Peru Support Group.

- Peru Support Group. (2012). *Artisanal and small-scale mining in Peru: a blessing or a curse?* London and United Kingdom: Peru Support Group.
- Pino, G., De Mesquita, L., Pinto, G., & Torem, M. (2006). Pino, G., De Mesquita, L., Torem, M., & Pinto, G. Biosorption of heavy metals by powder of green coconut shell. *Separation Science and Technology*, 41(14), 3141-3153.
- Pintado, K. (2018). *Comparación de la biosorción y desorción de metales pesados mediante el uso de marlo de maíz (Zea mays) en aguas contaminadas (Tesis de Bachiller)*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2012). *A practical guide: reducing mercury use in artisanal and small-scale gold mining*. Ginebra: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2015). *Developing a National Action Plan to reduce, and where feasible, eliminate mercury use in artisanal and small scale gold mining: Working draft*. Ginebra: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Ramakritinan, C. M., Chandurvelan, R., & Kumaragur, A. (2012). Acute Toxicity of Metals: Cu, Pb, Cd, Hg and Zn on Marine Molluscs, *Cerithedia cingulata* G., and *Modiolus philippinarum* H. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences (IJMS)*, 41 (2), 141-145.
- Ripley, E., & Redmann, R. (1995). Ripley, E. A., & Redmann, R. E. (1995). Environmental effects of mining. *CRC Press*.
- Rodríguez, D. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *MediSan*, 21(12), 3372-3385.
- Romero, L. A. (2018). *Preparación y caracterización de materiales adsorbentes a partir de cáscaras de frutas para su uso en la remoción de metales y aplicación a procesos ambientales (Tesis de doctorado)*. Santiago de Querétaro, México: Universidad de Granada.
- Roy, D., Gautam, S., Singh, P., Singh, G., & Das, B. (2016). Carbonaceous species and physicochemical characteristics of PM 10 in coal mine fire area—a case study. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 9(4), 429-437.
- Rubio, D., Calderón, R., Gualtero, A., Acosta, D., & Sandoval, J. (2015). Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. Una revisión. *Ingeniería y Región*, (13), 73-90.
- Sala, F., García, S., Gónzales, J., Frascaroli, M., Mangiameli, F., Bellú, S., & Blanes, P. (2010). Biosorción para la eliminación de metales pesados en aguas de desecho. *Química y Medio Ambiente*, 106(2), 114-120.
- Sala, L., García, S., Gonzáles, J., Frascaroli, M., Mangiameli, F., Bellú, S., . . . Salas, J. (2010). Biosorción para la eliminación de metales pesados en aguas de desecho. *An. la Real Soc. Española Química*, 106(2)114-120.
- Salas, G. (2018). *Tiempo de contacto y pH de la cáscara de granadilla en la biosorción de zinc en aguas del Río Grande- Quiruvilca*. Trujillo: Universidad Privada del Norte.
- Samaniego, J., Arzamendia, A., & Ayala, M. (2016). Remoción de Hierro y Plomo en aguas Residuales por Bioadsorción de la Cáscara de Naranja agria. *Revista sobre Estudios e Investigaciones del Saber Académico*, 69-75.
- Sánchez, E. (2014). *Propuesta de elaboración y comercialización de filtros adsorbentes para aguas contaminadas a partir de la cáscara de la mazorca de cacao como adsorbente en la ciudad de Guayaquil (Tesis de pregrado)*. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Santoyo, R. (2017). *Estudio de las Causas del Desuso de las Herramientas de Planeamiento en la Pequeña Minería y Minería Artesanal en Chala, Arequipa. Tesis de pregrado*. Arequipa: Universidad Tecnológica del Perú.

- Sanz, J. (25 de Mayo de 2013). *Microbiología Ambiental. Taller práctico*. Obtenido de <http://www.cbm.uam.es/imagweb/Memoria.../04bvirologiaymicrobiologia.pdf>
- Schmiermund, R., & Drozd, M. (1999). Acid mine drainage and other mining-influenced waters (MIW). In *Mining Environmental Handbook: Effects of Mining on the Environment and American Environmental Controls on Mining*, 599-617.
- Shalaby, N., Ewais, E., Elsaadany, R., & Ahmed, A. (2017). Rice husk templated water treatment sludge as low cost dye and metal adsorbent. *Egyptian Journal of Petroleum*, 661-668.
- Slack, K. (2009). *Mining conflicts in Peru: Condition critical*. Boston: Oxfam Americ.
- Sommerrfeld, E. (1999). *Iron and Manganese Removal*. Hadbook.
- Sousa, R., Veiga, M., Klein, B., Telmer, K., Gunson, A., & Bernaudat, L. (2010). "Strategies for reducing the environmental impact of reprocessing mercury contaminated tailings in the artisanal and small-scale gold mining sector: insights from Tapajos River Basin, Brazil". *Journal of Cleaner Production*, 18:1757-1766.
- Suparta, W., Abu, F., & Abdullah, M. (2013). Remote sensing of Antarctic ozone depletion using GPS meteorology. *International journal of remote sensing*, 34(7), 2519-2530.
- Tapia, P., Pavez, O., Garrido, N., & Sepúlveda, B. (2018). Remoción de iones de Cobre y Níquel con cáscaras de maní. *Holos*, 57-69.
- Tejada, C., Herrera, A., & Núñez, J. (2016). Remoción de plomo por biomásas residuales de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y zuro de maíz (*Zea mays*). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.*, 19(1): 169-178.
- Tejada, C., Villabona, A., & Núñez, J. (2015). Uso de biomásas para la adsorción de plomo, níquel, mercurio y cromo. *Ingenium*, 9(24). 41-51.
- Tejada, C., Gallo, J., Moscote, J., Villabona, A., & Acevedo, D. (2018). Adsorción competitiva de plomo y Níquel sobre cáscara de ñame y bagazo de palma en sistema continuo. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16 (1), 52-61.
- The Editors of Encyclopaedia Britannica. (02 de 08 de 2018). *Chemical precipitation*. Obtenido de Chemical precipitation: <https://www.britannica.com/science/chemical-precipitation>
- Thirumavalavan, M., Lai, Y., Lin, L., & Lee, J. (2009). Cellulose-based native and surface modified fruit peels for the adsorption of heavy metal ions from aqueous solution: Langmuir adsorption isotherms. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 55(3), 1186-1192.
- Tóth, G., Hermann, T., Szatmári, G., & Pásztor, L. (2016). Maps of heavy metals in the soils of the European Union and proposed priority areas for detailed assessment. *Science of the Total Environment*, 565, 1054-1062.
- Tovar, C., Herrera, A., & Zaru, J. (2016). Remoción de plomo por biomásas residuales de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y zuro de maíz (*Zea mays*). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 19(1), 169-178.
- Toxqui, L., Piero, A., Courtois, V., Bastida, S., Sánchez, F., & Vaquero, M. (2010). Deficiencia y sobrecarga de hierro; implicaciones en el estado oxidativo y la salud cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*, 25(3), 350-365.
- Tyler, R., & Allan, M. (2014). The Effects of Arsenic Exposure on Neurological and Cognitive Dysfunction in Human and Rodent Studies: A review. *Curr Environ Health*, 1(2), 32-147.
- United Nations Environmet Programme. (2012). *Analysis of formalization approaches in the artisanal and small-scale gold mining sector based on experiences in Ecuador, Mongolia, Peru, Tanzania and Uganda*. United States: UNEP.
- Valcárcel, M. (2007). *Desarrollo y Desarrollo Rural: Enfoques y Reflexiones*. Lima: Departamento de Ciencias Sociales, Pontificia Universidad Católica del Perú.

- Van, H., & Iliev, I. (2012). *Patent Landscape Report on Membrane Filtration and UV Water Treatment*. World Intellectual Property Organization (WIPO).
- Vasco, A., & Betancur, M. (2014). Estudio de la cinética de adsorción de índigo carmín en piezas abrasivas. *Investigaciones Aplicadas*, 8(2), 131-139.
- Vega, E. (2017). *Estudio de la aplicación de la cáscaras de huevo en la remoción de fluoruros en aguas claras (Tesis de pregrado)*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Venkateswara, R. P., & Baral, S. S. (2011). Experimental design of mixture for the anaerobic co-digestion of sewage sludge. *Chemical Engineering Journal*, 172, 2-3, 977-86.
- Verdugo, J. (2017). *Bioadsorción de iones de plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara de la mandarina (Citrus reticulata var. clementina) (Tesis de pregrado)*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Vigneswaran, R., Aitchison, S., McDonald, H., Khong, T., & Hiller, J. (2004). Cerebral palsy and placental infection: a case-cohort study. *BMC pregnancy and childbirth*, 4(1), 1.
- Vizcaino, L., & Fuentes, N. (2015). Biosorción de Cd, Pb y Zn por biomasa pretratada de algas rojas, cáscara de naranja y tuna. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25 (1), 43-60.
- Volesky, B., & May-Phillips, H. (1995). Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 42(5), 797-806.
- World Business Council for Sustainable Development . (2002). *Global Report on Artisanal & Small-Scale Mining*. England: International Institute for Environment and Development (IIED).
- Wuana, R., & Okieimen, F. (2011). Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *Isrn Ecology*.
- Yang, X. (2014). *Precipitation and Removal of Ionic Compounds From Produced Water: Observed Versus Modeled Results. THESIS*. Fort Collins, Colorado: Universidad Estatal de Colorado.
- Yıldız, N., Gönülşen, R., Koyuncu , H., & Çalimli, A. (2005). Adsorption of benzoic acid and hydroquinone by organically modified bentonites. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 260(1-3), 87-94.
- Yu , J., Wang , L., Chi , R., Zhang , Y., Xu , Z., & Guo , J. (2013). Competitive adsorption of Pb²⁺ and Cd²⁺ on magnetic modified sugarcane bagasse prepared by two simple steps. *Applied Surface Science*. 2013, 268:163–70.
- Zhang, X., Chen, W., Ma, C., & Zhan, S. (2013). Modeling particulate matter emissions during mineral loading process under weak wind simulation. *Science of the total environment*, 168-173.
- Zurera, G., Estrada, B., Rincon, F., & Pozo, R. (1987). Lead and cadmium contamination levels in edible vegetables. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 38(5), 805-812.

ANEXOS

Anexo 1. Certificado de publicación de artículo de revisión



Australia | Qatar | India | New York | Malaysia

Certificate

Office Code :	M1867	Date :	2018-10-25
MIC No. :	2854	Status :	Published

Article Details

This is to certify that following paper has been published in IOSR Journals.

Article Title	:	Advances of Bioadsorption as an alternative in the elimination of heavy metals from mining-metallurgical effluents.
Author's Name	:	Fernandez Alvarado M. , Flores Cordova D. , Lovera Davila D., Pardave W. , Santamaria Yenni
Journal Name	:	IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology
ISSN	:	2319-2402
Publisher Name	:	International Organization of Scientific Research
Journal Url	:	www.iosrjournals.org
Publishing Model	:	Open Access Publishing
Review Type	:	Blind Peer Review Process
Journal Type	:	Indexed Refereed Journal
Volume No.	:	12
Issue No.	:	10
Article DOI	:	10.9790/2402-1210016982



Signature
Editorial Manager
IOSR Journals
support@iosrmail.org

Anexo 2. Laboratorio de Metalúrgia de la UNMSM



Anexo 3. Revisión del proyecto con el asesor UNMSM



Anexo 4. Participación de Centro de Investigaciones Tecnológicas, Biomédicas y Medioambientales (CITBM) UNMSM en la investigación.



Anexo 5. Reuniones de coordinación con el CITBM



Anexo 6. Obtención de las cáscaras de coco



Anexo 7. Limpieza y corte de la cáscara de coco



Anexo 8. Limpieza y corte de la cáscara de naranja



Anexo 9. Obtención de la cáscara de plátano



Anexo 10. Limpieza y desinfección de la cáscara de plátano



Anexo 11. Estufa usada para el secado de las cáscaras



Anexo 12. Proceso de secado de las cáscaras



Anexo 13. Cáscaras de naranja, coco y plátano después del secado



Anexo 14. Trituración de las cáscaras



Anexo 15. Tamiz N°60



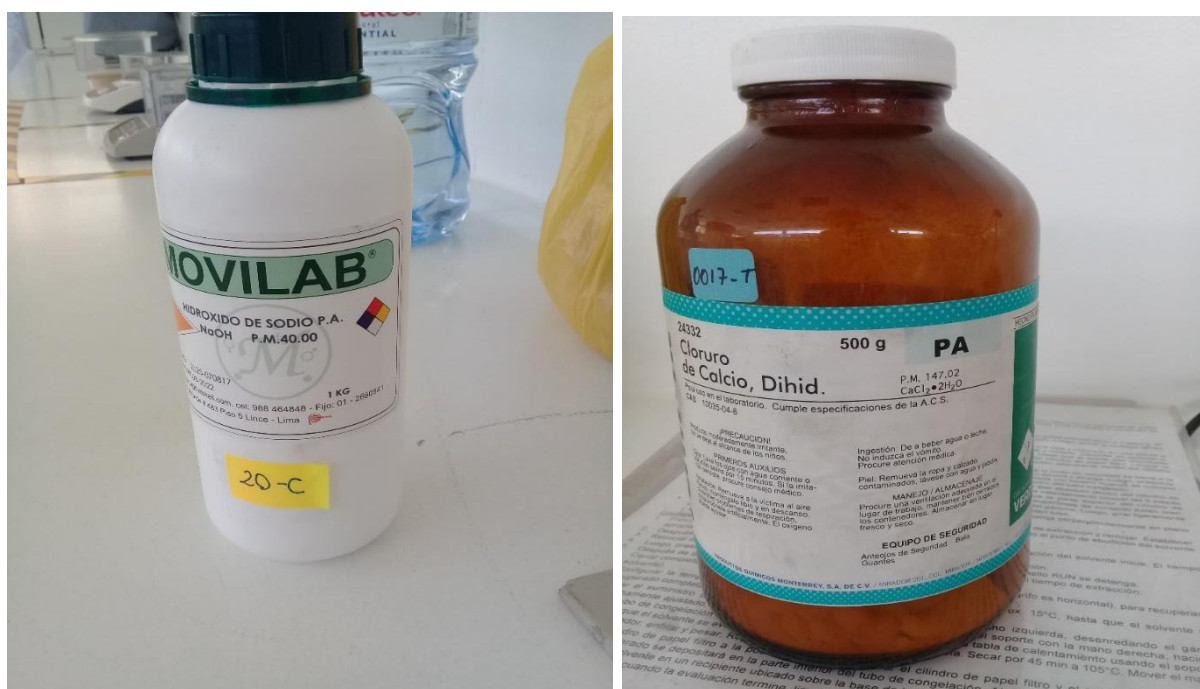
Anexo 16. Materiales tamizados



Anexo 17. Laboratorio de Química, UPeU



Anexo 18. Reactivos para Desmetoxilación y Reticulación de la naranja



Anexo 19. Naranja tratada



Anexo 20. Preparación de materiales para filtro



Anexo 21. Preparación del efluente: peso relave



Anexo 22. Preparación del efluente, relación 1/3



Anexo 23. Jarras listas para colocar equipo



Anexo 24. Adecuación de equipo de pruebas de jarras



Anexo 25. Equipo de prueba de jarras puesto en marcha



Anexo 26. Equipo de decantación



Anexo 27. Peso de los adsorbentes



Anexo 28. Codificación de los muestreadores



Anexo 29. Filtro bioadsorbente puesto en marcha



Anexo 30. Primeras muestras



Anexo 31. Toma de muestras para análisis



Anexo 32. Muestras listas para laboratorio



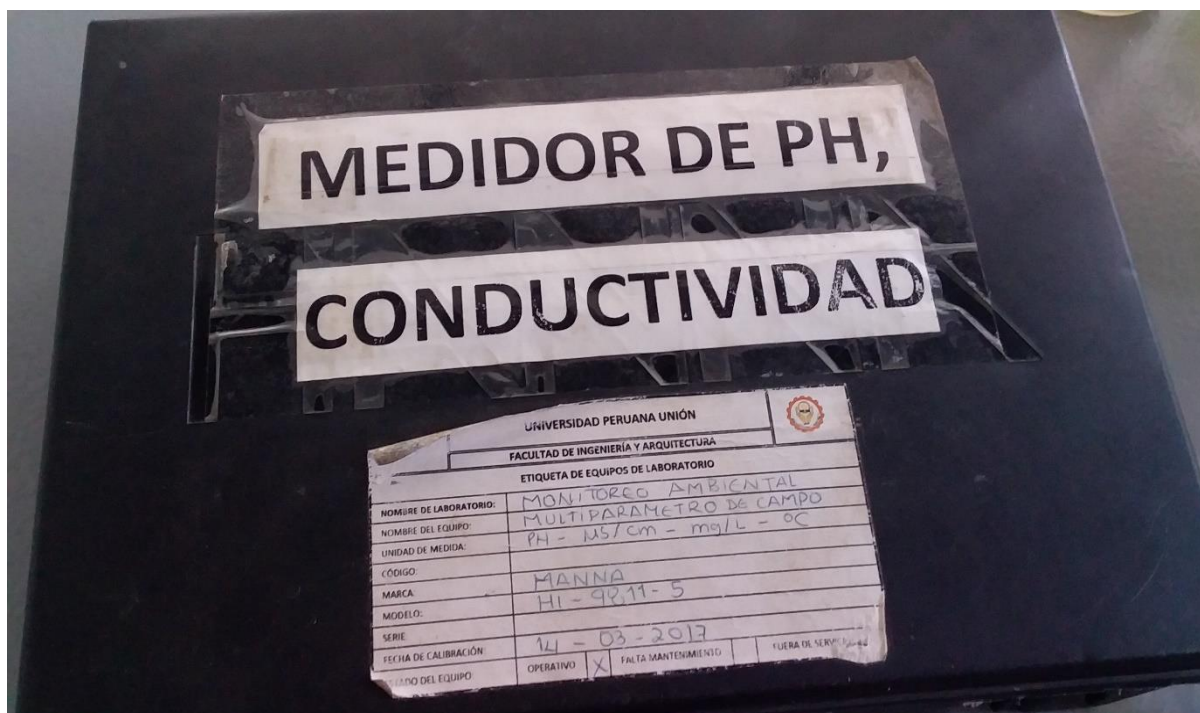
Anexo 33. Equipo de laboratorio para análisis por FRX



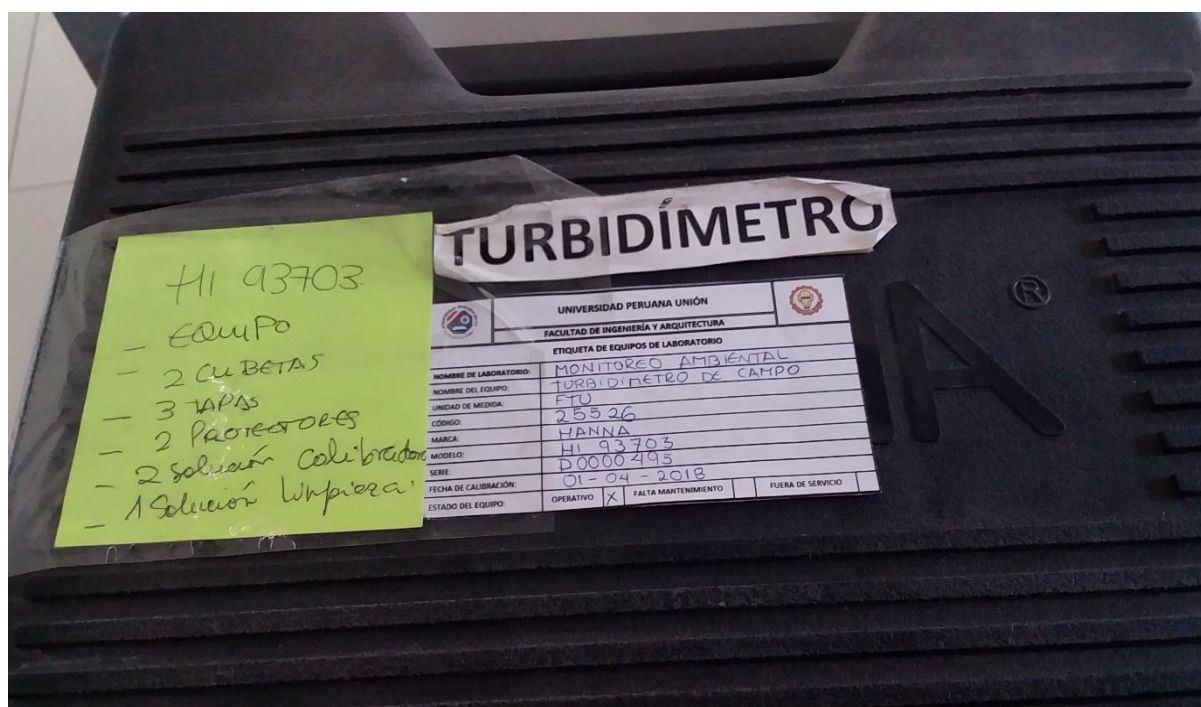
Anexo 34. Análisis de muestras en CITBM-metales pesados



Anexo 35. Equipo 1 para medir parámetros físicos en laboratorio UPeU



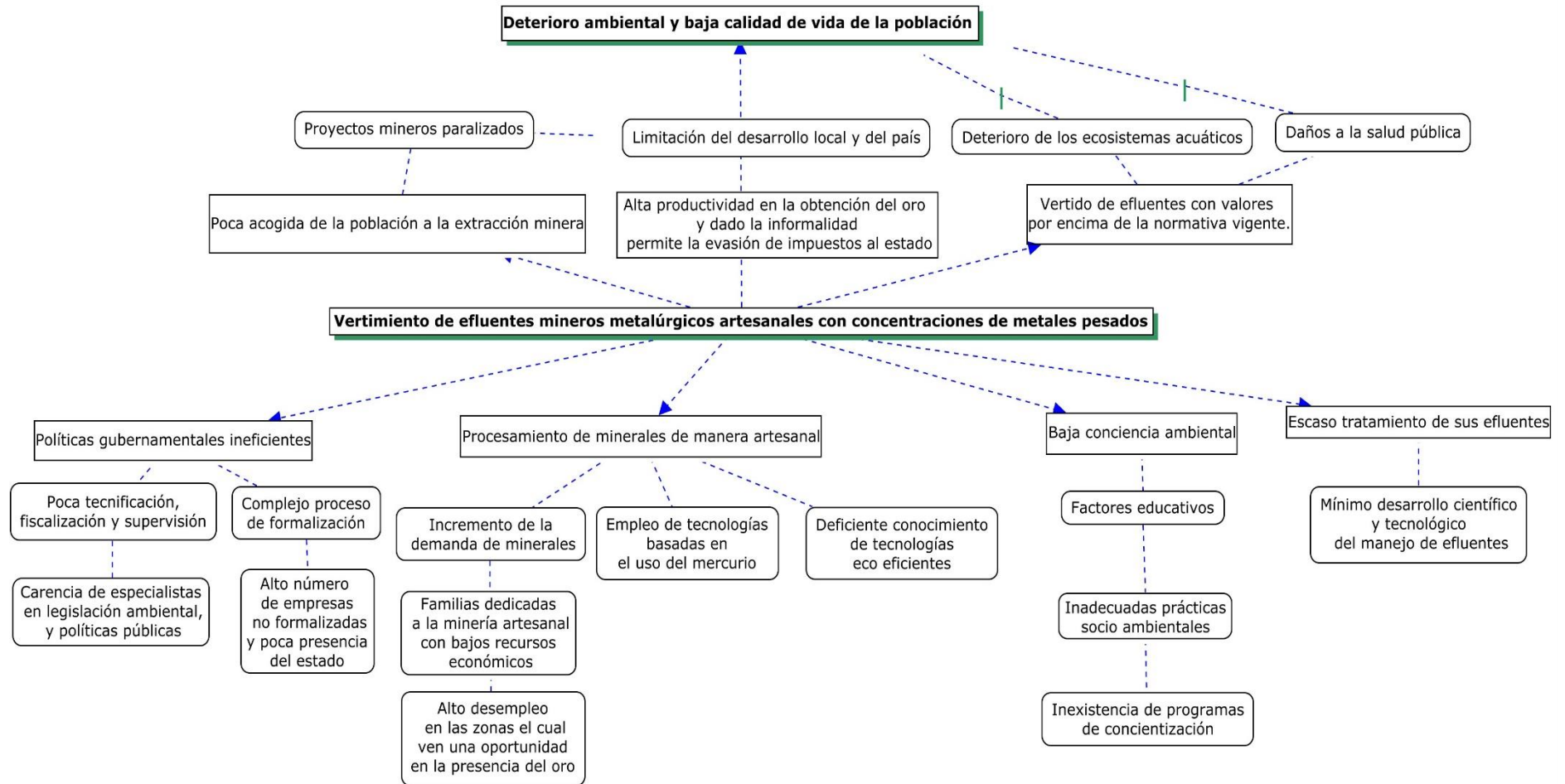
Anexo 36. Equipo 2 para medir parámetros físicos en laboratorio UPeU



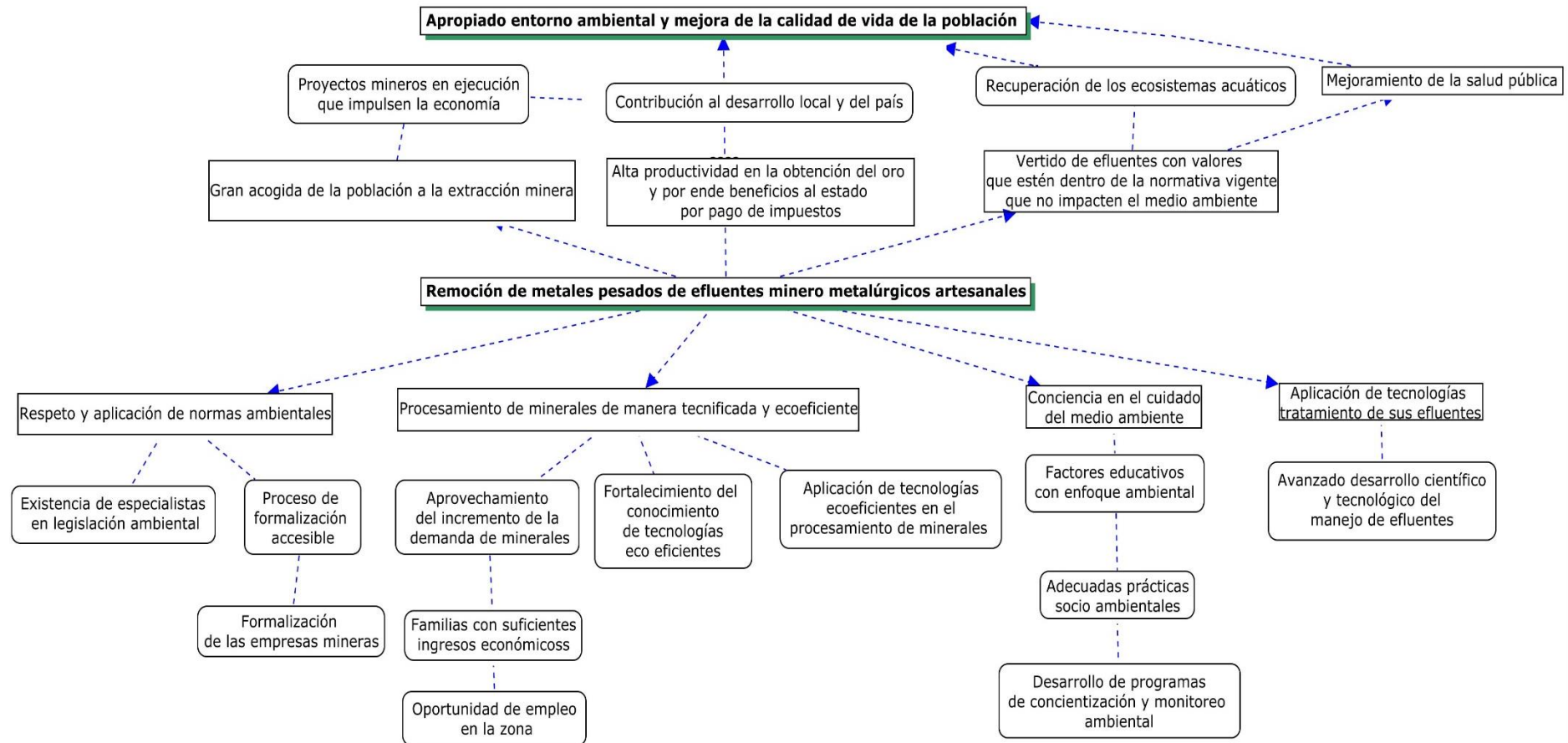
Anexo 37. Medida de parámetros físicos en laboratorio ambiental de la UPeU



Anexo 38. Árbol de problemas de la tesis



Anexo 39. Árbol de objetivos de la tesis



Anexo 40. Matriz de consistencia de la tesis

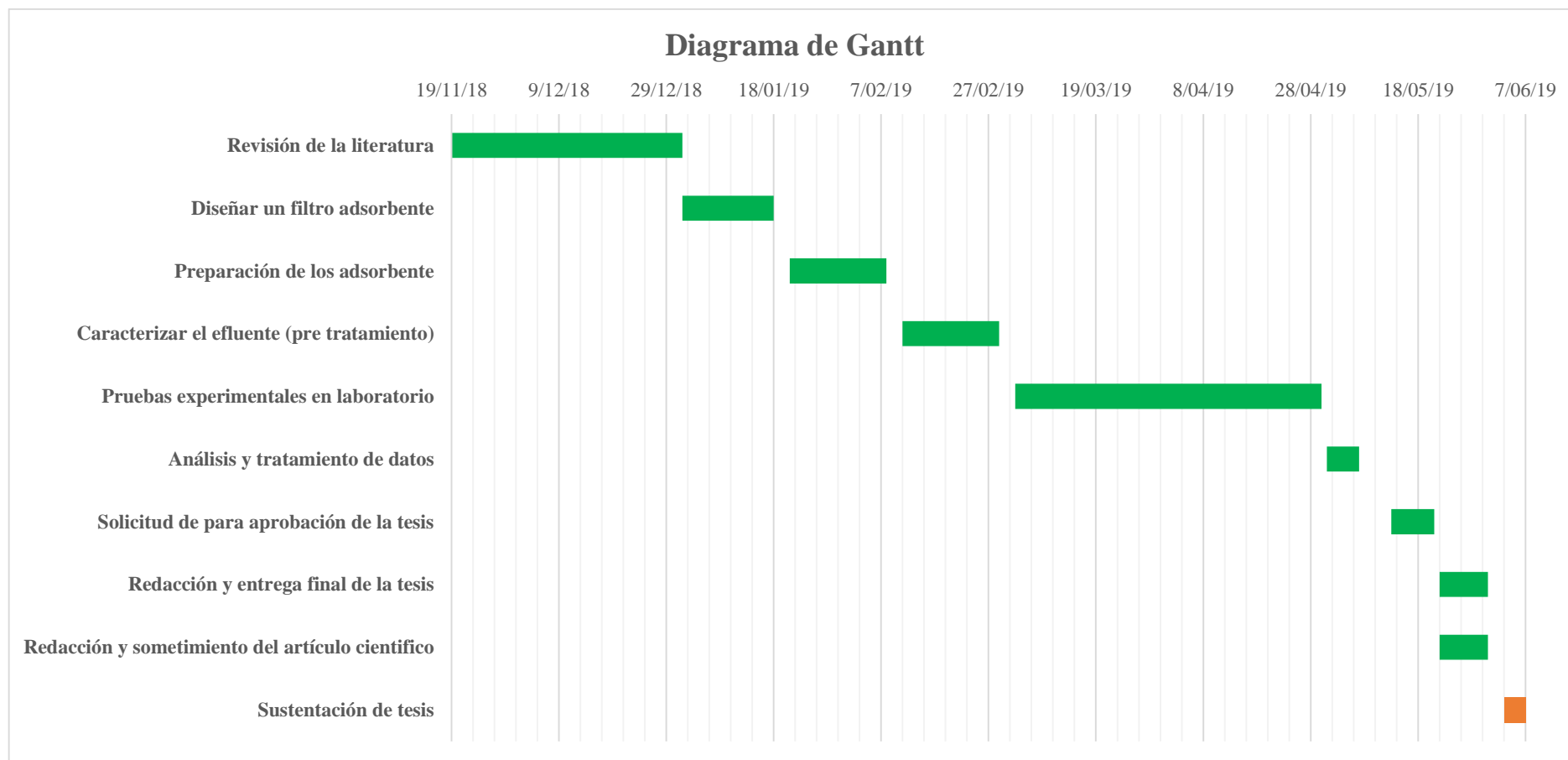
PROBLEMAS	OBJETIVOS	JUSTIFICACIÓN	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<u>Problema General</u> ¿La ausencia de tratamiento de los efluentes de la minería artesanal genera un impacto negativo al ambiente y a la salud de la población?	<u>Objetivo General</u> Evaluar la remoción de metales pesados de efluentes minero-metalúrgico mediante filtro bioadsorbente con fibras lignocelulósicas en Santa Rosa Quives, Lima.	Para Martínez (2017) la minería es necesaria y compatible con el desarrollo sustentable, ha sido el motor de crecimiento y desarrollo en el Perú. En estos últimos años este sector se ha acrecentado considerablemente, por el alza de la demanda y precio de los metales, además del fomento de inversiones por empresas extranjeras lo cual derivó en un incremento rápido del número de proyectos para explorar y explotar las minas en el país (Luque, 2016). De igual forma, la minería informal se ha ampliado en el país logrando ingresos que compiten con la minería formal, pero si ocasionan cuantiosas pérdidas económicas, ya que este tipo de minería no aporta canon ni impuestos, sumado a ello genera impactos negativos al ambiente ya que no cumple con la normativa vigente.	<u>Hipótesis general</u> El Filtro Adsorbente con materiales orgánicos (Cáscara de coco, banano y naranja) resultará eficiente en la remoción del Cu, Fe y Pb presentes en los efluentes mineros artesanales.	Independientes: -Fibra de Plátano (%) -Fibra de Coco (%) -Fibra de Naranja (%) Dependientes: [] metales Cu, Fe y Pb	Tipo de Investigación: Experimental Nivel de investigación: Explicativo Diseño de la Investigación: Cuantitativa
<u>Problema específico 1</u> ¿Cuál es la relación entre las propiedades de los materiales orgánicos y los metales presentes en los efluentes mineros?	<u>Objetivo específico 1</u> Obtener y preparar los materiales orgánicos (cáscaras de plátano, coco y naranja)	Tratando los efluentes mineros se está convirtiendo en una actividad común en todo el mundo, en algunas partes por la escasez de agua, otros porque la legislación existente es más	<u>Hipótesis específica 1</u> Los materiales orgánicos tendrán la capacidad de adsorber metales pesados.	Tamaño de partícula (mm), cantidad,	
<u>Problema específico 2</u> ¿En qué medida los efluentes con valores de contenido metálico que superan la normativa afecta el ecosistema?	<u>Objetivo específico 2</u> Caracterizar y determinar los parámetros fisicoquímicos y metales pesados del efluente		<u>Hipótesis específica 2</u> Los efluentes metalúrgicos presentan metales pesados con valores que superan la normativa vigente.	Conductividad Turbiedad Metales pesados	
<u>Problema específico 3</u> ¿El alto costo de las tecnologías convencionales de remediación limitan su aplicación en la minería artesanal?	<u>Objetivo específico 3</u> Diseñar un sistema de tratamiento compuesto por un filtro adsorbente con materiales orgánicos.		<u>Hipótesis específica 3</u> El filtro compuesto por fibras lignocelulósicas será eficiente para el tratamiento de los efluentes metalúrgicos.	Cantidad de adsorbente Tiempo de contacto Tamaño de partículas	
<u>Problema específico 4</u> ¿Las variables planteadas permiten la exactitud y precisión de los resultados obtenidos con el diseño Diseño Simplex Lattice ?	<u>Objetivo específico 4</u> Determinar los parámetros óptimos en la remoción de metales pesados aplicando diseño de experimentos de superficie de respuesta y		<u>Hipótesis específica 4</u> El diseño experimental (Diseño Simplex Lattice) ayudará a encontrar las condiciones óptimas de remoción.	% fibra de plátano % fibra de naranja % fibra de coco	

	comparar con los Límites Máximos Permisible (LMP) para efluentes minero-metalúrgicos	exigente y el control y fiscalización son mayores. La preocupación más grande para la creación de nuevas regulaciones viene siendo la salud humana y la vida acuática. Según Cárdenas (2017) la minería aurífera indudablemente produce impactos al ambiente, sin embargo, si se implementara tecnologías, estudios de impacto ambiental adecuados, éstos podrían ser mitigados u eliminados. La aplicación de una tecnología reproducible a bajo costo, poco mantenimiento y sencilla en su operación permitirá el tratamiento de las aguas ácidas de la minería artesanal – informal de la zona de Santa Rosa de Quives.		
<u>Problema específico 5</u> ¿En qué medida el análisis fisicoquímico del efluente define el tratamiento óptimo?	<u>Objetivo específico 5</u> Determinar el porcentaje de remoción de las propiedades fisicoquímicas y metales pesados del tratamiento óptimo del efluente minero		<u>Hipótesis específica 5</u> El análisis fisicoquímico del efluente ayudará a determinar el tratamiento óptimo.	pH Temperatura Sólidos Suspendidos Conductividad %Remoción Tamaño de partícula (mm) Tiempo contacto (horas) Cantidad (gr)

Anexo 41. Cronograma de actividades

Actividades	Fecha de inicio	Duración en días	Fecha fin
Revisión de la literatura	19/11/18	43	1/01/19
Diseñar un filtro adsorbente	1/01/19	17	18/01/19
Diseño			
Construcción			
Preparación de los adsorbente	21/01/19	18	8/02/19
Triturar las cáscaras de los adsorbentes hasta un tamaño menor			
Tamizar por medio de tamiz N° 60 para tamaño 0.250 mm			
Caracterizar el efluente (pre tratamiento)	11/02/19	18	1/03/19
Preparar los efluentes en laboratorio			
Determinar la concentración de metales en el efluente y medir parámetros físicos			
Pruebas experimentales en laboratorio	4/03/19	57	30/04/19
Efectuar las pruebas según diseño estadístico			
Análisis y tratamiento de datos	1/05/19	6	7/05/19
Procesamiento de datos con software estadístico			
Interpretación de data			
Solicitud de para aprobación de la tesis	13/05/19	8	21/05/19
Solicitud de designación del comité dictaminador de tesis			
Informe de conformidad de la tesis para el dictamen			
Redacción y entrega final de la tesis	22/05/19	9	31/05/19
Redacción del borrador del trabajo final			
Revisión y corrección del borrador del trabajo final			
Transcripción y entrega de trabajo final			
Redacción y sometimiento del artículo científico	22/05/19	9	31/05/19
Redacción y adecuación al formato de la revista			
Someter a la revista científica			
Sustentación de tesis	3/06/19	4	7/06/19
Sustentación del trabajo final			

Anexo 42. Diagrama de Gantt-Cronograma de actividades



Anexo 43. Presupuesto de la Investigación

Materia prima				
Materiales	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Cáscara de Plátano	Caja	3	40	120
Cáscara de Naranja	kg	20	0.2	4
Cáscara de coco	kg	30	0.2	6
Sub total				S/. 130.00
Materiales y equipos				
Materiales	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Tamiz N° 60	Unidades	1	300	300
Cabina de melanina - bioadsorción	Unidad	1	1500	1500
Baldes de 4 Lt	Unidad	12	3	36
Manguera	Metros	5	10	50
Contenedores para adsorbentes	Unidades	21	3	63
Cronómetro	Unidad	6	10	60
Recipientes para muestras	Unidades	6	3	18
Cryoviales de 2.5 ml	Unidades	150	1	150
Cryoviales de 5ml	Unidades	100	0.5	50
Probetas de 1000 ml	Unidades	6	50	300
Pipetas de 10 ml	Unidades	3	3	9
Agua destilada	Bidones	2	50	100
Cuchillo	Unidades	2	7	14
Equipos de infusión desechable	Unidades	10	2	20
Guantes quirúrgicos	Paquete	1	15	15
Jarra de plástico 2 Lt	Unidad	1	15	15
Baldes de plástico de 20 Lt	Unidades	3	20	60
Mascarilla quirúrgica	Paquete	1	10	10

Gorras	Paquete	1	10	10
Papel filtro	Unidades	8	3	24
Cuaderno campo	Unidad	2	3	6
Sub total				S/. 2,810.00
Análisis fisicoquímico/laboratorios externos				
Parámetros	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo
pH	Unidad	11	0	0
Conductividad	Unidad	11	0	0
Solidos Suspendidos totales	Unidad	11	0	0
Temperatura	Unidad	11	0	0
Turbidez	Unidad	11	0	0
Cu	Unidad	21	150	3150
Fe	Unidad			
Pb	Unidad			
Sub total				S/. 3,150.00
Gastos administrativos				
Procesamiento de tesis	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo
Asesor interno	Personas	2	300	600
Estadista	Personas	2	100	200
Inscripción y asesoría de ejecución de proyecto	Personas	2	600	1200
Derecho de sustentación	Personas	2	700	1400
Sub total				S/. 3,400.00
Pasajes, impresiones y otros	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo
Pasajes	Personas	60	10	600
Impresiones y copias	Unidad	10	40	400
Empaste final tesis	Unidad	5	50	250
Sub total				S/. 1,250.00
TOTAL				S/. 10,740.00

Anexo 44. D.S N° 010-2010-MINAM

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
PARA LA DESCARGA DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE
ACTIVIDADES MINERO - METALÚRGICAS**

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio anual
pH		6 - 9	6 - 9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0,8
Arsénico Total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio Total	mg/L	0,05	0,04
Cromo Hexavalente(*)	mg/L	0,1	0,08
Cobre Total	mg/L	0,5	0,4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1,6
Plomo Total	mg/L	0,2	0,16
Mercurio Total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc Total	mg/L	1,5	1,2

Anexo 45. Metales pesados y Límites Máximos Permisibles

	Norma	Metales pesados (mg/l)			Físicos-químicos	
		Cu	Fe	Pb	pH	SST
Tratamientos		0.5	2	0.2	6-9	50
T1		0.008	0.134	0.018	4.6	960
T2		0.002	0.115	0.013	6.6	1520
T3		0.004	0.148	0.007	5.8	1050
T4		0.010	0.153	0.008	6.2	892
T5		0.013	0.297	0.011	6	960
T6		0.004	0.108	0.007	7	1010
T7		0.014	0.287	0.023	6.7	1060
T8		0.012	0.171	0.012	6	970
T9		0.020	0.347	0.015	6.2	862
T10		0.018	0.425	0.017	6.7	1140

Anexo 46. Resultados pre de los análisis de las muestras



CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, BIOMÉDICAS Y MEDIOAMBIENTALES

REPORTE DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE MUESTRAS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X

CONSIDERACIONES EXPERIMENTALES:

Condiciones de la medición:

El análisis se realizó en un Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X por reflexión total marca **BRUKER**, modelo **S2-PICOFOX**.
Fuente de rayos X: Tubo de Mo.
Tiempo de medida: 2000 segundos.
Estándar internacional para cuantificación:
Elemento: Galio (Ga)
Concentración: 1g/l.

Características de la muestra analizada:

Se analizó 2.5 ml de la muestra líquida. Además se realizó por triplicado.



Ca. José Santos Chocano Nro. 199, Urb. San Joaquín, Bellavista, Callao, Perú
Teléfonos: (51-1) 4525259 / (51-1) 6197000 anexo 4407
www.citbm.pe



CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, BIOMÉDICAS Y MEDIOAMBIENTALES

Tabla 2. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

Muestra		N° 2 MI-01-B	
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	125.310	Zinc (Zn)	0.706
Potasio (K)	12.600	Bromo (Br)	0.210
Calcio (Ca)	282.580	Estroncio (Sr)	0.905
Manganeso (Mn)	728.700	Bario (Ba)	-
Hierro (Fe)	1.377	Plomo (Pb)	0.222
Cobre (Cu)	0.048		

Tabla 3. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

Muestra		N° 3 MI-01-C	
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	104.459	Zinc (Zn)	0.144
Potasio (K)	12.206	Bromo (Br)	0.233
Calcio (Ca)	249.373	Estroncio (Sr)	0.828
Manganeso (Mn)	0.434	Bario (Ba)	0.076
Hierro (Fe)	1.360	Plomo (Pb)	0.366
Cobre (Cu)	0.061		

Ca. José Santos Chocano Nro. 199, Urb. San Joaquín, Bellavista, Callao, Perú
Teléfonos: (51-1) 4525259 / (51-1) 6197000 anexo 4407
www.citbm.pe



CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, BIOMÉDICAS Y MEDIOAMBIENTALES

MUESTRA N° 1: MI-01

Al realizar la comparación del espectro de la muestra analizada con las energías características de los elementos de la tabla periódica a partir del Magnesio (Mg), se encontraron principalmente: Cloro (Cl), Potasio (K), Calcio (Ca), Manganeso (Mn), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Bromo (Br), Estroncio (Sr), Bario (Ba) y Plomo (Pb). La concentración de los elementos identificados en las muestras se presentan en las Tabla 1, 2 y 3.

Tabla 1. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

Muestra		N° 1 MI-01-A	
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	166.957	Zinc (Zn)	0.600
Potasio (K)	16.801	Bromo (Br)	0.272
Calcio (Ca)	399.247	Estroncio (Sr)	1.234
Manganeso (Mn)	939.070	Bario (Ba)	-
Hierro (Fe)	1.340	Plomo (Pb)	0.202
Cobre (Cu)	0.056		

Ca. José Santos Chocano Nro. 199, Urb. San Joaquín, Bellavista, Callao, Perú
Teléfonos: (51-1) 4525259 / (51-1) 6197000 anexo 4407
www.citbm.pe

Anexo 47. Resultados post de los análisis de las muestras



CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, BIOMÉDICAS Y MEDIOAMBIENTALES

REPORTE DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE MUESTRAS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X

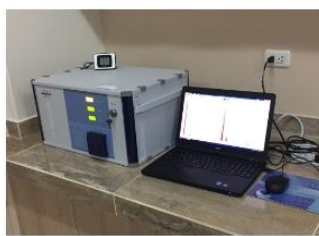
CONSIDERACIONES EXPERIMENTALES:

Condiciones de la medición:

El análisis se realizó en un Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X por reflexión total marca **BRUKER** modelo **S2-PICOFOX**.
Fuente de rayos X: Tubo de Mo.
Tiempo de medida: 2000 segundos.
Estándar internacional para cuantificación:
Elemento: Galio (Ga)
Concentración: 1g/l.

Características de la muestra analizada:

Para esta caracterización se utilizó 2.5 ml de muestra líquida. Además, se adicionó 5 µL de 1 g/L de Galio como estándar interno, el cual permite cuantificar los elementos presentes en la muestra. La cantidad mencionada anteriormente tanto para Galio fue calculada específicamente para este volumen de muestra en estudio. La solución compuesta por estos dos elementos fue homogenizada en un agitador (Vortex) durante 15 min a 2500 RPM. Luego de este proceso, se pipetó 10 µL de la solución sobre un portamuestra de acrílico, el cual fue llevado a un desecador en vacío para secar la solución en estudio. Finalmente la muestra es colocada en el equipo para su posterior medida. Considerándose un tiempo de medida por muestra de 1000 s.



Ca. José Santos Chocano Nro. 199, Urb. San Joaquín, Bellavista, Callao, Perú
Teléfonos: (51-1) 4525259 / (51-1) 6197000 anexo 4407
www.citbm.pe



CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, BIOMÉDICAS Y MEDIOAMBIENTALES

ANÁLISIS DEL ESPECTRO DE LA MUESTRA:

MUESTRAS: E1

Al realizar la comparación del espectro de la muestra analizada con las energías características de los elementos de la tabla periódica a partir del Magnesio (Mg), se encontraron principalmente: Cloro (Cl), Potasio (K), Calcio (Ca), Manganeseo (Mn), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Bromo (Br), Rubidio (Rb), Estroncio (Sr), Bario (Ba) y Plomo (Pb). La concentración de los elementos identificados en la muestra se presentan en las Tablas 1, 2 y 3.

Tabla 1. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

Muestra		N° 1 – E1-A	
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	1108.010	Zinc (Zn)	0.300
Potasio (K)	887.782	Bromo (Br)	0.470
Calcio (Ca)	540.280	Rubidio (Rb)	0.198
Manganeseo (Mn)	0.979	Estroncio (Sr)	2.723
Hierro (Fe)	0.131	Bario (Ba)	0.272
Cobre (Cu)	0.010	Plomo (Pb)	0.019

Ca. José Santos Chocano Nro. 199, Urb. San Joaquín, Bellavista, Callao, Perú
Teléfonos: (51-1) 4525259 / (51-1) 6197000 anexo 4407
www.citbm.pe



CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, BIOMÉDICAS Y MEDIOAMBIENTALES

Tabla 2. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

Muestra		N° 2 – E1-B	
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	1083.020	Zinc (Zn)	0.295
Potasio (K)	959.660	Bromo (Br)	0.458
Calcio (Ca)	530.289	Rubidio (Rb)	0.242
Manganeseo (Mn)	1.074	Estroncio (Sr)	2.340
Hierro (Fe)	0.150	Bario (Ba)	0.256
Cobre (Cu)	0.007	Plomo (Pb)	0.015

Tabla 3. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

Muestra		N° 3 – E1-C	
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	1011.110	Zinc (Zn)	0.292
Potasio (K)	912.112	Bromo (Br)	0.509
Calcio (Ca)	560.297	Rubidio (Rb)	0.250
Manganeseo (Mn)	1.814	Estroncio (Sr)	2.536
Hierro (Fe)	1.134	Bario (Ba)	0.275
Cobre (Cu)	0.008	Plomo (Pb)	0.018

Ca. José Santos Chocano Nro. 199, Urb. San Joaquín, Bellavista, Callao, Perú
Teléfonos: (51-1) 4525259 / (51-1) 6197000 anexo 4407
www.citbm.pe



CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, BIOMÉDICAS Y MEDIOAMBIENTALES

MUESTRAS: E2

Al realizar la comparación del espectro de la muestra analizada con las energías características de los elementos de la tabla periódica a partir del Magnesio (Mg), se encontraron principalmente: Cloro (Cl), Potasio (K), Calcio (Ca), Manganeseo (Mn), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Bromo (Br), Rubidio (Rb), Estroncio (Sr), Bario (Ba) y Plomo (Pb). La concentración de los elementos identificados en la muestra se presenta en las Tablas 4, 5 y 6.

Tabla 4. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

Muestra		N° 4 – E2-A	
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	122.221	Zinc (Zn)	0.360
Potasio (K)	23.980	Bromo (Br)	0.285
Calcio (Ca)	246.157	Rubidio (Rb)	0.009
Manganeseo (Mn)	0.186	Estroncio (Sr)	2.115
Hierro (Fe)	0.111	Bario (Ba)	0.175
Cobre (Cu)	0.001	Plomo (Pb)	0.013

Ca. José Santos Chocano Nro. 199, Urb. San Joaquín, Bellavista, Callao, Perú
Teléfonos: (51-1) 4525259 / (51-1) 6197000 anexo 4407
www.citbm.pe



CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, BIOMÉDICAS Y MEDIOAMBIENTALES

Tabla 5. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

Muestra N° 5 – E2-B			
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	119.002	Zinc (Zn)	0.358
Potasio (K)	20.620	Bromo (Br)	0.268
Calcio (Ca)	239.141	Rubidio (Rb)	0.011
Manganeso (Mn)	0.456	Estroncio (Sr)	2.078
Hierro (Fe)	0.121	Bario (Ba)	0.169
Cobre (Cu)	0.002	Plomo (Pb)	0.012

Tabla 6. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

Muestra N° 6 – E2-C			
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	116.202	Zinc (Zn)	0.370
Potasio (K)	16.34	Bromo (Br)	0.279
Calcio (Ca)	214.198	Rubidio (Rb)	0.010
Manganeso (Mn)	0.115	Estroncio (Sr)	2.094
Hierro (Fe)	0.115	Bario (Ba)	0.174
Cobre (Cu)	0.003	Plomo (Pb)	0.013

Ca. José Santos Chocano Nro. 199. Urb. San Joaquín, Bellavista, Callao, Perú
Teléfonos: (51-1) 4525259 / (51-1) 6197000 anexo 4407
www.citbm.pe



CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, BIOMÉDICAS Y MEDIOAMBIENTALES

MUESTRAS: E3

Al realizar la comparación del espectro de la muestra analizada con las energías características de los elementos de la tabla periódica a partir del Magnesio (Mg), se encontraron principalmente: Cloro (Cl), Potasio (K), Calcio (Ca), Manganeso (Mn), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Bromo (Br), Rubidio (Rb), Estroncio (Sr), Bario (Ba) y Plomo (Pb). La concentración de los elementos identificados en la muestra se presentan en las Tablas 7, 8 y 9.

Tabla 7. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

Muestra N° 7 – E3-A			
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	166.198	Zinc (Zn)	0.004
Potasio (K)	87.708	Bromo (Br)	0.210
Calcio (Ca)	18.560	Rubidio (Rb)	0.040
Manganeso (Mn)	0.010	Estroncio (Sr)	0.047
Hierro (Fe)	0.144	Bario (Ba)	0.049
Cobre (Cu)	0.005	Plomo (Pb)	0.007

Ca. José Santos Chocano Nro. 199. Urb. San Joaquín, Bellavista, Callao, Perú
Teléfonos: (51-1) 4525259 / (51-1) 6197000 anexo 4407
www.citbm.pe



CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, BIOMÉDICAS Y MEDIOAMBIENTALES

Tabla 8. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

Muestra N° 8 – E3-B			
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	141.189	Zinc (Zn)	0.006
Potasio (K)	82.607	Bromo (Br)	0.202
Calcio (Ca)	17.473	Rubidio (Rb)	0.028
Manganeso (Mn)	0.024	Estroncio (Sr)	0.061
Hierro (Fe)	0.145	Bario (Ba)	0.047
Cobre (Cu)	0.004	Plomo (Pb)	0.005

Tabla 9. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

Muestra N° 9 – E3-C			
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	155.179	Zinc (Zn)	0.004
Potasio (K)	90.23	Bromo (Br)	0.215
Calcio (Ca)	25.568	Rubidio (Rb)	0.039
Manganeso (Mn)	0.012	Estroncio (Sr)	0.039
Hierro (Fe)	0.148	Bario (Ba)	0.046
Cobre (Cu)	0.003	Plomo (Pb)	0.007

Ca. José Santos Chocano Nro. 199. Urb. San Joaquín, Bellavista, Callao, Perú
Teléfonos: (51-1) 4525259 / (51-1) 6197000 anexo 4407
www.citbm.pe



CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, BIOMÉDICAS Y MEDIOAMBIENTALES

MUESTRAS: E4

Al realizar la comparación del espectro de la muestra analizada con las energías características de los elementos de la tabla periódica a partir del Magnesio (Mg), se encontraron principalmente: Cloro (Cl), Potasio (K), Calcio (Ca), Manganeso (Mn), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Bromo (Br), Rubidio (Rb), Estroncio (Sr), Bario (Ba) y Plomo (Pb). La concentración de los elementos identificados en la muestra se presentan en las Tablas 10, 11 y 12.

Tabla 10. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

Muestra N° 10 – E4-A			
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	83.490	Zinc (Zn)	0.110
Potasio (K)	188.521	Bromo (Br)	0.137
Calcio (Ca)	142.480	Rubidio (Rb)	0.049
Manganeso (Mn)	0.342	Estroncio (Sr)	0.830
Hierro (Fe)	0.161	Bario (Ba)	0.134
Cobre (Cu)	0.012	Plomo (Pb)	0.006

Ca. José Santos Chocano Nro. 199. Urb. San Joaquín, Bellavista, Callao, Perú
Teléfonos: (51-1) 4525259 / (51-1) 6197000 anexo 4407
www.citbm.pe



CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, BIOMÉDICAS Y MEDIOAMBIENTALES

Tabla 11. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

Muestra		N° 11 – E4-B	
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	84.870	Zinc (Zn)	0.102
Potasio (K)	179.462	Bromo (Br)	0.130
Calcio (Ca)	155.895	Rubidio (Rb)	0.062
Manganeso (Mn)	0.452	Estroncio (Sr)	0.852
Hierro (Fe)	0.152	Bario (Ba)	0.129
Cobre (Cu)	0.010	Plomo (Pb)	0.010

Tabla 12. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

Muestra		N° 12 – E4-C	
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	91.650	Zinc (Zn)	0.104
Potasio (K)	191.275	Bromo (Br)	0.145
Calcio (Ca)	171.775	Rubidio (Rb)	0.064
Manganeso (Mn)	0.412	Estroncio (Sr)	0.814
Hierro (Fe)	0.153	Bario (Ba)	0.133
Cobre (Cu)	0.009	Plomo (Pb)	0.008

Ca. José Santos Chocano Nro. 199. Urb. San Joaquín, Bellavista, Callao, Perú
Teléfonos: (51-1) 4525259 / (51-1) 6197000 anexo 4407
www.citbm.pe



CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, BIOMÉDICAS Y MEDIOAMBIENTALES

Tabla 14. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

Muestra		N° 14 – E5-B	
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	265.985	Zinc (Zn)	0.120
Potasio (K)	807.101	Bromo (Br)	0.326
Calcio (Ca)	125.048	Rubidio (Rb)	0.204
Manganeso (Mn)	0.447	Estroncio (Sr)	0.320
Hierro (Fe)	0.298	Bario (Ba)	0.096
Cobre (Cu)	0.015	Plomo (Pb)	0.008

Tabla 15. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

Muestra		N° 15 – E5-C	
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	274.796	Zinc (Zn)	0.118
Potasio (K)	863.237	Bromo (Br)	0.334
Calcio (Ca)	99.028	Rubidio (Rb)	0.198
Manganeso (Mn)	0.416	Estroncio (Sr)	0.318
Hierro (Fe)	0.297	Bario (Ba)	0.100
Cobre (Cu)	0.011	Plomo (Pb)	0.011

Ca. José Santos Chocano Nro. 199. Urb. San Joaquín, Bellavista, Callao, Perú
Teléfonos: (51-1) 4525259 / (51-1) 6197000 anexo 4407
www.citbm.pe



CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, BIOMÉDICAS Y MEDIOAMBIENTALES

MUESTRAS: E5

Al realizar la comparación del espectro de la muestra analizada con las energías características de los elementos de la tabla periódica a partir del Magnesio (Mg), se encontraron principalmente: Cloro (Cl), Potasio (K), Calcio (Ca), Manganeso (Mn), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Bromo (Br), Rubidio (Rb), Estroncio (Sr), Bario (Ba) y Plomo (Pb). La concentración de los elementos identificados en la muestra se presentan en las Tablas 13, 14 y 15.

Tabla 13. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

Muestra		N° 13 – E5-A	
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	274.491	Zinc (Zn)	0.119
Potasio (K)	782.262	Bromo (Br)	0.312
Calcio (Ca)	116.012	Rubidio (Rb)	0.205
Manganeso (Mn)	0.428	Estroncio (Sr)	0.317
Hierro (Fe)	0.312	Bario (Ba)	0.102
Cobre (Cu)	0.012	Plomo (Pb)	0.010

Ca. José Santos Chocano Nro. 199. Urb. San Joaquín, Bellavista, Callao, Perú
Teléfonos: (51-1) 4525259 / (51-1) 6197000 anexo 4407
www.citbm.pe



CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, BIOMÉDICAS Y MEDIOAMBIENTALES

MUESTRA: E6

Al realizar la comparación del espectro de la muestra analizada con las energías características de los elementos de la tabla periódica a partir del Magnesio (Mg), se encontraron principalmente: Cloro (Cl), Potasio (K), Calcio (Ca), Manganeso (Mn), Hierro (Fe), Bromo (Br), Rubidio (Rb), Estroncio (Sr), Bario (Ba) y Plomo (Pb). La concentración de los elementos identificados en la muestra se presentan en las Tablas 16, 17 y 18.

Tabla 16. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

Muestra		N° 16 – E6-A	
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	62.581	Zinc (Zn)	0.043
Potasio (K)	95.642	Bromo (Br)	0.112
Calcio (Ca)	145.131	Rubidio (Rb)	0.049
Manganeso (Mn)	0.164	Estroncio (Sr)	0.345
Hierro (Fe)	0.106	Bario (Ba)	0.041
Cobre (Cu)	0.005	Plomo (Pb)	0.005

Ca. José Santos Chocano Nro. 199. Urb. San Joaquín, Bellavista, Callao, Perú
Teléfonos: (51-1) 4525259 / (51-1) 6197000 anexo 4407
www.citbm.pe



CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, BIOMÉDICAS Y MEDIOAMBIENTALES

Tabla 17. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

N° 17 – E6-B			
Muestra			
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	75.852	Zinc (Zn)	0.040
Potasio (K)	90.576	Bromo (Br)	0.134
Calcio (Ca)	120.060	Rubidio (Rb)	0.043
Manganeso (Mn)	0.185	Estroncio (Sr)	0.357
Hierro (Fe)	0.115	Bario (Ba)	0.035
Cobre (Cu)	0.004	Plomo (Pb)	0.008

Tabla 18. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

N° 18 – E6-C			
Muestra			
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	80.585	Zinc (Zn)	0.039
Potasio (K)	87.469	Bromo (Br)	0.126
Calcio (Ca)	140.052	Rubidio (Rb)	0.047
Manganeso (Mn)	0.190	Estroncio (Sr)	0.039
Hierro (Fe)	0.108	Bario (Ba)	0.034
Cobre (Cu)	0.003	Plomo (Pb)	0.007

Ca. José Santos Chocano Nro. 199. Urb. San Joaquín, Bellavista, Callao, Perú
Teléfonos: (51-1) 4525259 / (51-1) 6197000 anexo 4407
www.citbm.pe



CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, BIOMÉDICAS Y MEDIOAMBIENTALES

MUESTRAS: E7

Al realizar la comparación del espectro de la muestra analizada con las energías características de los elementos de la tabla periódica a partir del Magnesio (Mg), se encontraron principalmente: Cloro (Cl), Potasio (K), Calcio (Ca), Manganeso (Mn), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Bromo (Br), Rubidio (Rb), Estroncio (Sr), Bario (Ba) y Plomo (Pb). La concentración de los elementos identificados en la muestra se presentan en las Tablas 19, 20 y 21.

Tabla 19. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

N° 19 – E7-A			
Muestra			
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	253.655	Zinc (Zn)	0.263
Potasio (K)	964.421	Bromo (Br)	0.369
Calcio (Ca)	165.100	Rubidio (Rb)	0.251
Manganeso (Mn)	0.887	Estroncio (Sr)	0.603
Hierro (Fe)	0.295	Bario (Ba)	0.171
Cobre (Cu)	0.015	Plomo (Pb)	0.020

Ca. José Santos Chocano Nro. 199. Urb. San Joaquín, Bellavista, Callao, Perú
Teléfonos: (51-1) 4525259 / (51-1) 6197000 anexo 4407
www.citbm.pe



CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, BIOMÉDICAS Y MEDIOAMBIENTALES

Tabla 20. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

N° 20 – E7-B			
Muestra			
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	262.416	Zinc (Zn)	0.262
Potasio (K)	875.514	Bromo (Br)	0.351
Calcio (Ca)	172.740	Rubidio (Rb)	0.242
Manganeso (Mn)	0.975	Estroncio (Sr)	2.608
Hierro (Fe)	0.306	Bario (Ba)	0.181
Cobre (Cu)	0.013	Plomo (Pb)	0.022

Tabla 21. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

N° 21 – E7-C			
Muestra			
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	271.533	Zinc (Zn)	0.256
Potasio (K)	968.159	Bromo (Br)	0.378
Calcio (Ca)	153.863	Rubidio (Rb)	0.231
Manganeso (Mn)	0.898	Estroncio (Sr)	0.616
Hierro (Fe)	0.287	Bario (Ba)	0.172
Cobre (Cu)	0.015	Plomo (Pb)	0.023

Ca. José Santos Chocano Nro. 199. Urb. San Joaquín, Bellavista, Callao, Perú
Teléfonos: (51-1) 4525259 / (51-1) 6197000 anexo 4407
www.citbm.pe



CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, BIOMÉDICAS Y MEDIOAMBIENTALES

MUESTRAS: E8

Al realizar la comparación del espectro de la muestra analizada con las energías características de los elementos de la tabla periódica a partir del Magnesio (Mg), se encontraron principalmente: Cloro (Cl), Potasio (K), Calcio (Ca), Manganeso (Mn), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Bromo (Br), Rubidio (Rb), Estroncio (Sr), Bario (Ba) y Plomo (Pb). La concentración de los elementos identificados en la muestra se presentan en las Tablas 22, 23 y 24.

Tabla 22. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

N° 22 – E8-A			
Muestra			
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	133.361	Zinc (Zn)	0.098
Potasio (K)	184.088	Bromo (Br)	0.121
Calcio (Ca)	108.553	Rubidio (Rb)	0.076
Manganeso (Mn)	0.263	Estroncio (Sr)	0.503
Hierro (Fe)	0.182	Bario (Ba)	0.127
Cobre (Cu)	0.010	Plomo (Pb)	0.013

Ca. José Santos Chocano Nro. 199. Urb. San Joaquín, Bellavista, Callao, Perú
Teléfonos: (51-1) 4525259 / (51-1) 6197000 anexo 4407
www.citbm.pe



CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, BIOMÉDICAS Y MEDIOAMBIENTALES

Tabla 23. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

Muestra		N° 23 – E8-B	
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	125.572	Zinc (Zn)	0.097
Potasio (K)	190.089	Bromo (Br)	0.131
Calcio (Ca)	115.431	Rubidio (Rb)	0.085
Manganeso (Mn)	0.251	Estroncio (Sr)	0.488
Hierro (Fe)	0.170	Bario (Ba)	0.126
Cobre (Cu)	0.014	Plomo (Pb)	0.011

Tabla 24. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

Muestra		N° 24 – E8-C	
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	130.981	Zinc (Zn)	0.099
Potasio (K)	174.496	Bromo (Br)	0.141
Calcio (Ca)	123.787	Rubidio (Rb)	0.084
Manganeso (Mn)	0.212	Estroncio (Sr)	0.499
Hierro (Fe)	0.171	Bario (Ba)	0.130
Cobre (Cu)	0.013	Plomo (Pb)	0.012

Ca. José Santos Chocano Nro. 199. Urb. San Joaquín, Bellavista, Callao, Perú
Teléfonos: (51-1) 4525259 / (51-1) 6197000 anexo 4407
www.citbm.pe



CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, BIOMÉDICAS Y MEDIOAMBIENTALES

Tabla 26. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

Muestra		N° 26 – E9-B	
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	191.046	Zinc (Zn)	0.105
Potasio (K)	289.584	Bromo (Br)	0.154
Calcio (Ca)	76.869	Rubidio (Rb)	0.075
Manganeso (Mn)	0.232	Estroncio (Sr)	0.183
Hierro (Fe)	0.362	Bario (Ba)	0.124
Cobre (Cu)	0.023	Plomo (Pb)	0.014

Tabla 27. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

Muestra		N° 27 – E9-C	
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	242.099	Zinc (Zn)	0.102
Potasio (K)	254.645	Bromo (Br)	0.189
Calcio (Ca)	58.875	Rubidio (Rb)	0.084
Manganeso (Mn)	0.237	Estroncio (Sr)	0.155
Hierro (Fe)	0.347	Bario (Ba)	0.130
Cobre (Cu)	0.020	Plomo (Pb)	0.015

Ca. José Santos Chocano Nro. 199. Urb. San Joaquín, Bellavista, Callao, Perú
Teléfonos: (51-1) 4525259 / (51-1) 6197000 anexo 4407
www.citbm.pe



CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, BIOMÉDICAS Y MEDIOAMBIENTALES

MUESTRAS: E9

Al realizar la comparación del espectro de la muestra analizada con las energías características de los elementos de la tabla periódica a partir del Magnesio (Mg), se encontraron principalmente: Cloro (Cl), Potasio (K), Calcio (Ca), Manganeso (Mn), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Bromo (Br), Rubidio (Rb), Estroncio (Sr), Bario (Ba) y Plomo (Pb). La concentración de los elementos identificados en la muestra se presentan en las Tablas 25, 26 y 27.

Tabla 25. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

Muestra		N° 25 – E9-A	
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	230.081	Zinc (Zn)	0.106
Potasio (K)	262.671	Bromo (Br)	0.178
Calcio (Ca)	67.893	Rubidio (Rb)	0.082
Manganeso (Mn)	0.219	Estroncio (Sr)	0.168
Hierro (Fe)	0.350	Bario (Ba)	0.133
Cobre (Cu)	0.018	Plomo (Pb)	0.016

Ca. José Santos Chocano Nro. 199. Urb. San Joaquín, Bellavista, Callao, Perú
Teléfonos: (51-1) 4525259 / (51-1) 6197000 anexo 4407
www.citbm.pe



CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, BIOMÉDICAS Y MEDIOAMBIENTALES

MUESTRAS: E10

Al realizar la comparación del espectro de la muestra analizada con las energías características de los elementos de la tabla periódica a partir del Magnesio (Mg), se encontraron principalmente: Cloro (Cl), Potasio (K), Calcio (Ca), Manganeso (Mn), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Bromo (Br), Rubidio (Rb), Estroncio (Sr), Bario (Ba) y Plomo (Pb). La concentración de los elementos identificados en la muestra se presentan en las Tablas 28, 29 y 30.

Tabla 28. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

Muestra		N° 28 – E10-A	
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
Cloro (Cl)	172.846	Zinc (Zn)	0.130
Potasio (K)	268.088	Bromo (Br)	0.230
Calcio (Ca)	159.534	Rubidio (Rb)	0.087
Manganeso (Mn)	0.298	Estroncio (Sr)	0.530
Hierro (Fe)	0.425	Bario (Ba)	0.162
Cobre (Cu)	0.020	Plomo (Pb)	0.015

Ca. José Santos Chocano Nro. 199. Urb. San Joaquín, Bellavista, Callao, Perú
Teléfonos: (51-1) 4525259 / (51-1) 6197000 anexo 4407
www.citbm.pe



CENTRO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, BIOMÉDICAS Y MEDIOAMBIENTALES

Tabla 29. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

N° 29 – E10-B			
Muestra			
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
<i>Cloro</i> (Cl)	186.862	<i>Zinc</i> (Zn)	0.125
<i>Potasio</i> (K)	291.196	<i>Bromo</i> (Br)	0.230
<i>Calcio</i> (Ca)	137.631	<i>Rubidio</i> (Rb)	0.089
<i>Manganeso</i> (Mn)	0.312	<i>Estroncio</i> (Sr)	0.520
<i>Hierro</i> (Fe)	0.420	<i>Bario</i> (Ba)	0.158
<i>Cobre</i> (Cu)	0.018	<i>Plomo</i> (Pb)	0.019

Tabla 30. Elementos presentes en la muestra así como sus concentraciones en mg/l

N° 30 – E10-C			
Muestra			
Elementos	Concentración (mg/l)	Elementos	Concentración (mg/l)
<i>Cloro</i> (Cl)	170.657	<i>Zinc</i> (Zn)	0.122
<i>Potasio</i> (K)	275.127	<i>Bromo</i> (Br)	0.215
<i>Calcio</i> (Ca)	136.465	<i>Rubidio</i> (Rb)	0.090
<i>Manganeso</i> (Mn)	0.308	<i>Estroncio</i> (Sr)	0.518
<i>Hierro</i> (Fe)	0.425	<i>Bario</i> (Ba)	0.161
<i>Cobre</i> (Cu)	0.015	<i>Plomo</i> (Pb)	0.017

Ca. José Santos Chocano Nro. 199, Urb. San Joaquín, Bellavista, Callao, Perú
Teléfonos: (51-1) 4525259 / (51-1) 6197000 anexo 4407
www.citbm.pe